

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**AVALIAÇÃO DE MEDIDAS DE GERENCIAMENTO DA  
DEMANDA NO SISTEMA HÍDRICO DO DESCOBERTO E  
INTERLIGAÇÕES COM SISTEMA SANTA MARIA/TORTO**

**PÂMELLA BRENDA CARVALHO GONÇALVES**

**ORIENTADORA: CONCEIÇÃO DE MARIA ALBUQUERQUE  
ALVES**

**MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL II EM ENGENHARIA  
AMBIENTAL**

**BRASÍLIA/DF, 04 DE JULHO DE 2018**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA FACULDADE DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**AVALIAÇÃO DE MEDIDAS DE GERENCIAMENTO DA**  
**DEMANDA NO SISTEMA HÍDRICO DO DESCOBERTO E**  
**INTERLIGAÇÕES COM SISTEMA SANTA MARIA/TORTO**

**PÂMELLA BRENDA CARVALHO GONÇALVES**

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM ENGENHARIA AMBIENTAL.

**APROVADA POR:**

---

**CONCEIÇÃO DE MARIA ALBUQUERQUE ALVES, PhD - UnB**  
**(ORIENTADORA)**

---

**ARTHUR TAVARES SCHLEICHER, Msc - UnB**  
**(EXAMINADOR INTERNO)**

---

**MARIA DO CARMO MAGALHÃES Cézar, Msc - UnB**  
**(EXAMINADOR EXTERNO)**

**DATA: BRASÍLIA/DF, 04 DE JULHO DE 2018**

## FICHA CATALOGRÁFICA

GONÇALVES, PÂMELLA BRENDA CARVALHO

Avaliação de medidas de gerenciamento da demanda no Sistema Hídrico do Descoberto com Sistema Santa Maria/Torto. [Distrito Federal] 2018.

113 p., (ENC/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Ambiental, 2017)

Monografia de Projeto Final - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Crise Hídrica

2. Racionamento

3. Reservatório do  
Descoberto e Santa  
Maria/ Torto

4. Modelo WEAP

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

GONÇALVES, P.B.C. (2017). Avaliação de medidas de gerenciamento da demanda no Sistema Hídrico do Descoberto com Sistema Santa Maria/Torto. Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 113p.

## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Pâmella Brenda Carvalho Gonçalves

TÍTULO DA MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL: Avaliação de medidas de gerenciamento da demanda no Sistema Hídrico do Descoberto com Sistema Santa Maria/Torto.

GRAU / ANO: Bacharel em Engenharia Ambiental / 2018.

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta monografia de Projeto Final e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de Projeto Final pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

---

Pâmella Brenda Carvalho Gonçalves  
QN 32 Conjunto 4 casa 15  
71880729 – Riacho Fundo 2 – Brasil  
[pamella.brenda@hotmail.com](mailto:pamella.brenda@hotmail.com)

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar, eu agradeço a Deus, por sempre ter me dado sabedoria nos caminhos que tive que trilhar durante minha graduação, e por ter me dado forças para conseguir alcançar meus objetivos e superar todas as dificuldades.

Agradeço à minha família, em especial meus pais Cláudia e Jones, por apoiarem todas as decisões que tomei ao longo da graduação e por ter me dado todo o amor e conforto. Agradeço também, à minha irmã e sobrinhas por deixarem essa jornada mais leve, e pelo amor incondicional. Não posso deixar de agradecer à Francisca, minha avó que ficou de perto me apoiando nesse momento final da graduação.

Agradeço ao André, meu namorado por estar comigo com toda sua compreensão e amor desde quando ingressei na UnB, e por sempre acreditar no meu potencial.

Agradeço a todos os amigos pelo apoio e carinho. Em especial, Daniela, José, Vinícius Manfrini, Caroline Gosne, Camilo e aos amigos do AOA e da Facção, dentre outros que contribuíram, sem o apoio de vocês eu não estaria finalizando essa etapa com sucesso.

Agradeço a colaboração da Conceição, pela disponibilidade para me orientar, pelo suporte e pelas correções e incentivos. E à Marianna pelo apoio com o uso do WEAP. Também agradeço aos colaboradores Maria do Carmo e Arthur, por aceitarem participar da banca examinadora, e por terem me ajudado quando foram solicitados por mim. Gostaria de agradecer à CAESB e ADASA pelos dados fornecidos, ressaltando principalmente os colaboradores Samuel (ADASA) e Diogo (CAESB).

À CAPES, por ter financiado parte dos meus estudos em uma graduação sanduíche, na Ecole des Mines de Douai. Portanto, obrigado a todos que passaram no meu caminho durante essa estadia na França, por terem contribuído de forma positiva na minha graduação.

Às oportunidades de estágios que tive, na Vinci Construction, ANA e GIZ-SFB. Agradeço aos meus chefes pelas orientações e aprendizados, que me permitiram crescer profissionalmente.

## RESUMO

Devido ao agravamento da escassez de água em grandes centros urbanos houve a preocupação com a garantia da segurança hídrica nessas regiões. Nesse cenário, percebe-se que a crise hídrica ocorre em função da expansão urbana desordenada, baixos índices pluviométricos, uso não racional de água e possíveis falhas no gerenciamento integrado dos recursos hídricos. Portanto, um dos grandes desafios é ter o equilíbrio entre oferta do abastecimento e a demanda da população. Em vista disso, para se alcançar a segurança hídrica, cidades que buscaram solucionar a questão da disponibilidade hídrica optaram por ações que promovessem a expansão da oferta por meio de medidas estruturais em consonância com as medidas de gerenciamento da demanda.

A aplicação de medidas de racionamento foi uma das alternativas para cidades que tiveram que enfrentar a escassez hídrica. Tendo em vista que Brasília aplicou essas medidas para a mitigação da crise hídrica que atingiu a capital no período de 2016 à metade de 2018, esse trabalho propõe avaliar a efetividade das medidas de racionamento aplicadas nas Regiões Administrativas que são abastecidas pelo sistema Descoberto e Santa Maria. Foi utilizado o modelo *Water Evolution and Planing-WEAP* que possibilitou a elaboração de cenários com anos hidrológicos distintos e cenários que buscaram verificar o nível do reservatório com as medidas sendo aplicadas até junho de 2018 ou dezembro de 2018. Além disso, o trabalho buscou compreender como seria se o consumo voltasse a ser o que era antes da crise hídrica e no caso da população continuar fazendo uso racional da água e houvesse uma redução de 7% devido essa conscientização. Um dos cenários de importância foi o de considerar a contribuição do sistema Corumbá IV para o abastecimento do sistema Descoberto.

Como resultado, tem-se que o reservatório Santa Maria conseguirá retomar o 100% do volume útil nos cenários hidrológicos otimistas, entretanto percebe-se que com o cenário sem a conscientização do uso da água o reservatório atingiria até 33% do seu volume útil. Em relação ao reservatório Descoberto foi observado que com a contribuição do Corumbá IV haveria disponibilidade hídrica para o abastecimento desse sistema até mesmo em períodos de seca, entretanto os cenários hidrológicos pessimistas deixam o reservatório em estado de alerta.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	12
2. OBJETIVOS .....	15
2.1 OBJETIVO GERAL .....	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	15
3. REFERENCIAL TEÓRICO E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	16
3.1 SEGURANÇA HÍDRICA PARA ABASTECIMENTOS URBANOS.....	16
3.2 OFERTA E DEMANDA EM GRANDES CENTROS URBANOS.....	18
3.2.1 Oferta de água no Brasil .....	18
3.2.2 Demanda e uso múltiplos da água no Brasil.....	20
3.3 CRISE HÍDRICA NO BRASIL .....	22
3.3.1 Crise hídrica em São Paulo.....	24
3.3.2 Crise em Campina Grande.....	32
3.3.3 Crise hídrica no Distrito Federal .....	35
3.4 SISTEMA DE APOIO À DECISÃO PARA GESTÃO E PLANEJAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS .....	45
3.4.1 Aquatool .....	46
3.4.2 Mike Hidro Basin .....	46
3.4.3 IRAS 2010 – Interactive River and Aquifer Simulation .....	47
3.4.4 Acquanet.....	47
3.4.5 WEAP – Water Evaluation And Planning.....	48
4 METODOLOGIA .....	53
4.1 CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO .....	53
4.1.1 Bacia do reservatório Descoberto.....	54
4.1.2 Sistema de abastecimento de água do rio Descoberto.....	57
4.1.3 Características Físicas do Reservatório Descoberto .....	59
4.1.4 Bacia do Reservatório Santa Maria .....	61
4.1.5 Sistema de abastecimento de água Santa maria.....	64
4.1.6 Características Físicas do Reservatório Santa Maria.....	68
4.2 ANÁLISE DO CONSUMO DE ÁGUA NO SISTEMA DESCOBERTO.....	70
4.3 MODELAGEM COMPUTACIONAL.....	73
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	82
5.1 ANÁLISE DO CONSUMO NOS SISTEMAS DESCOBERTO E SANTA MARIA .....	82
5.2 SIMULAÇÃO NO WEAP.....	92

6. CONCLUSÃO .....	103
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	105

## LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
Figura 3-1: Tempos de Retorno da precipitação anual no Brasil para o ano hidrológico 2015 (Fonte: ANA, 2016).....	19
Figura 3-2: Volume de água armazenado nos reservatórios entre 2012 e 2016 (ANA, 2017). .....	20
Figura 3-3: Demanda consuntiva total no Brasil (m <sup>3</sup> /s) (Fonte: ANA, 2015).....	20
Figura 3-4: Balanço Hídrico no Brasil(Fonte: ANA, 2016). ....	21
Figura 3-5: Situação do abastecimento urbano de água nos municípios brasileiros (Fonte: ANA, 2016). ....	23
Figura 3-6: Esquema representativo do Sistema Cantareira (Fonte: ANA, 2015). ....	24
Figura 3-7: Vazões mensais afluentes ao Reservatório Equivalente do Sistema Cantareira (Fonte: Diário ANA/DAEE monitoramento do Sistema Cantareira, 2015 – chess). ....	25
Figura 3-8: Economia de água obtida com o programa bônus (m <sup>3</sup> /s) (Fonte: Chess, 2015). .....	28
Figura 3-9: Evolução do avanço dos sistemas sobre a região atendida pelo Cantareira (Fonte: Chess, 2015). ....	29
Figura 3-10: Redução da utilização de água do Sistema Cantareira (Fonte: Chess, 2015). ....	31
Figura 3-11: economia em m <sup>3</sup> /s por ação obtida em março no Sistema Cantareira. ....	32
Figura 3-12: Comportamento da curva do volume reservatório do Boqueirão (Epitácio Pessoa) (Fonte: AESA).....	33
Figura 3-13: Comportamento do reservatório Boqueirão.....	35
Figura 3-14: Divisão das bacias do Distrito Federal (Fonte: GGIRH, Adasa).....	35
Figura 3-15: Sistemas de Abastecimento de água no Distrito Federal. (Fonte: ANA) .....	36
Figura 3-16: Curva de comportamento do volume útil do reservatório do Descoberto (Fonte: Adasa).....	38
Figura 3-17: Curva de comportamento do volume útil do reservatório de Santa Maria (Fonte: Adasa).....	38
Figura 3-18: Consumo percentual por Região Administrativa e Sistema de Abastecimento (Fonte: Governo de Brasília, 2017). ....	40
Figura 3-19 - Volume Mensal da perda hídrica com ligações não autorizadas (Governo de Brasília, 2016). ....	41
Figura 3-20: Comportamento do Reservatório - Cenário 1 (Fonte: Plano Integrado de Enfrentamento à crise, 2017).....	43
Figura 3-21:Comportamento do reservatório - Cenário 2 (Racionamento de 12,1% em todo ano de 2017) (Fonte: Plano Integrado de Enfrentamento à crise, 2017). ....	44
Figura 3-22: Cota(m) do reservatório do Descoberto (2017) (Fonte: Adasa). ....	45
Figura 3-23: Fluxograma do modelo WEAP (Fonte: Fonseca, 2008).....	49
Figura 3-24- Esquema do modelo hidrológico do WEAP (Fonte: SEI, 2001).....	51
Figura 4-1 - Bacia do Rio Descoberto (Fonte: Rocha e Cézar, 2015).....	55
Figura 4-2: Fluviometria Média Mensal - 2013 (Fonte: Atlas Caesb, 2017). ....	56
Figura 4-3 - Pluviometria média, vazão afluentes e Captadas do reservatório Descoberto 1979-2016 (Fonte: CAESB) .....	57
Figura 4-4: lago Santa Maria. ....	62
Figura 4-5: Dados Fluviométricos mensais médio (Fonte: Atlas Caesb, 2017).....	64
Figura 4-6: Pluviometria média, vazões médias anuais captadas e afluentes do reservatório Descoberto 1979-2016 (Fonte: CAESB, 2017).....	64



Figura 4-7: Percentual de Volume útil por cota (ADASA, 2016).....	69
Figura 4-8: Representação do reservatório no WEAP (Fonte: SEI, adaptado Jorge,.....)	74
Figura 4-9: Consumo consciente da população considerando redução de consumo.....	80
Figura 4-10: Duração das medidas de racionamento.....	80
Figura 4-11: Cenário com contribuição do Corumbá IV.....	80
Figura 4-12: Passos metodológicos para a modelagem no programa WEAP.....	81
Figura 5-1: Consumo e renda per capita - PDAD 2015/2016 (Adaptado, Codeplan 2016).	83
Figura 5-2: Consumo per capita de água em 2015 do grupo 1.....	84
Figura 5-3: Consumo per capita de água em 2015 do grupo 2.....	85
Figura 5-4: Consumo per capita de água em 2015 do grupo 3.....	85
Figura 5-5: Consumo médio per capita dos anos de 2013 - 2016 no Sistema Descoberto (Fonte: Jorge, 2017).....	86
Figura 5-6: Consumo médio per capita dos anos de 2013 – 2016 no Sistema Santa Maria. ....	87
Figura 5-7: Representação do Sistema Descoberto no programa WEAP. ....	92
Figura 5-8: Representação do Sistema Santa Maria no programa WEAP. ....	93
Figura 5-9: Vazão afluente do reservatório Santa Maria (Cenário 1 A e C). ....	94
Figura 5-10: Volume simulado e observado – Reservatório Santa Maria.....	95
Figura 5-11: Volume simulado e observado – Reservatório Descoberto.....	96
Figura 5-12: Variação do volume útil cenário 1 (A e B) – Reservatório Santa Maria. ....	97
Figura 5-13: Variação do volume útil cenário 1 (A, B,C e D) – Reservatório Santa Maria. ....	97
Figura 5-14: Variação do volume útil cenário 3 (A e B) – Reservatório Descoberto.....	98
Figura 5-15: Variação do volume útil cenário 3 (A, B, C e D) – Reservatório Descoberto.....	98
Figura 5-16: Variação do volume útil Cenário 2 (A, B, C e D) – Santa Maria.....	99
Figura 5-17: Variação do volume útil cenário 4 (A e B) – Reservatório Descoberto.....	100
Figura 5-18: Variação do volume útil cenário 4 (C e D) – Reservatório Descoberto.....	100
Figura 5-19: Variação do volume com a contribuição do Corumbá IV – Reservatório Descoberto.....	101
Figura 5-20: Variação da cota do reservatório Santa Maria em todos os cenários.....	102
Figura 5-21: Variação da cota do reservatório Descoberto para todos os cenários.....	102

## LISTA DE TABELAS

Tabela	Página
Tabela 3-1: Consumo Anual do abastecimento de água no DF em 2016 (Fonte: Governo de Brasília, 2017). .....	39
Tabela 4-1: Afluentes do reservatório Descoberto. ....	56
Tabela 4-2: Volume de água consumido em 2013 (m <sup>3</sup> ) (Fonte: Jorge, 2017). ....	58
Tabela 4-3: Volume de água consumido em 2014 (m <sup>3</sup> ) (Fonte: Jorge, 2017). ....	58
Tabela 4-4: Volume de água consumido em 2015 (m <sup>3</sup> ) (Fonte: Jorge, 2017). ....	59
Tabela 4-5: Volume de água consumido em 2016 (m <sup>3</sup> ) (Fonte: Jorge, 2017). ....	59
Tabela 4-6: Características Físicas do reservatório do rio Descoberto. (SIAGUA, 2014; ADASA, 2016). ....	60
Tabela 4-7: Curva área x volume x cota do reservatório (Adaptado Nota Técnica nº 58/2016-SRH/ADASA, 2016). ....	60
Tabela 4-8: Percentual do Volume Útil. (ADASA, 2016). ....	61
Tabela 4-9: Taxas de precipitação e evaporação no reservatório Descoberto em 2013 (ADASA, 2016). ....	61
Tabela 4-10: Evolução do uso e cobertura do solo na bacia do reservatório Santa Maria. (Fonte: Lima, 2004). ....	63
Tabela 4-11: Estações de monitoramento do reservatório Santa Maria. ....	63
Tabela 4-12: Volume de água consumido em 2013 (m <sup>3</sup> ). ....	65
Tabela 4-13: Volume de água consumido em 2014 (m <sup>3</sup> ). ....	66
Tabela 4-14: Volume de água consumido em 2015 (m <sup>3</sup> ). ....	66
Tabela 4-15: Volume de água consumido em 2016 (m <sup>3</sup> ). ....	67
Tabela 4-16: Volume de água consumido em 2017 (m <sup>3</sup> ). ....	67
Tabela 4-17: Características Físicas do Lago Santa Maria. ....	68
Tabela 4-18: Cota e Volume(hm <sup>3</sup> ) (Fonte: Adaptado, ADASA, 2016). ....	68
Tabela 4-19: Percentual de volume útil por cota (Fonte: ADASA, 2016). ....	69
Tabela 4-20 : Taxas de precipitação e evaporação no reservatório Santa Maria em 2013 (ADASA, 2016). ....	70
Tabela 4-21: TMCGA das Regiões Administrativas abastecidas pelo sistema Descoberto. (Adaptado de Codeplan, 2016). ....	71
Tabela 4-22: TMGCA das Regiões Administrativas abastecidas pelo sistema Santa Maria. (Adaptado de Codeplan, 2016). ....	71
Tabela 4-23: Definições Water Year Method (Sistema Descoberto) – Adaptado Jorge (2017). ....	75
Tabela 4-24 : Definições Water Year Method (Sistema Santa Maria). ....	75
Tabela 4-25: Volume de consumo médios per capita para o ano de 2013 - 2016 (m <sup>3</sup> /hab.ano). ....	77
Tabela 4-26: Volume de consumo médio per capita para o ano de 2013-2016 (m <sup>3</sup> /hab.ano) ....	78
Tabela 5-1: Renda domiciliar mensal per capita em R\$ (PDAD, 2015). ....	82
Tabela 5-2: Taxas de redução de consumo por RA com aplicação de Redução de Pressão + Tarifa de Contingência, Sistema Descoberto (Fonte: Jorge, 2017). ....	88
Tabela 5-3: Taxas de redução de consumo por RA com aplicação de Redução de Pressão + Tarifa de Contingência, Sistema Santa Maria. ....	89
Tabela 5-4: Taxas de redução de consumo por RA com aplicação de Redução de Pressão + Tarifa de Contingência + Rodízio de 1 dia, Sistema Descoberto (Jorge, 2017). ....	90
Tabela 5-5: Taxas de redução de consumo por RA com aplicação de Redução de Pressão +	

Tarifa de Contingência + Rodízio de 1 dia, Sistema Santa Maria.....	90
Tabela 5-6: Taxas de redução de consumo por RA com aplicação de Redução de Pressão + Rodízio, Sistema Descoberto (Jorge, 2017). ....	91
Tabela 5-7: Taxas de redução de consumo por RA com aplicação de Redução de Pressão + Rodízio, Sistema Santa Maria. ....	91

## **LISTA DE SIMBOLOS, NOMECLATURAS E ABREVIACÕES**

Adasa - Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal.

AESA - Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba.

ANA - Agência Nacional de Águas.

CAESB - Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal.

CAGEPA - Companhia de Água e Esgoto da Paraíba.

Codeplan – Companhia de Planejamento do Distrito Federal.

DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica.

ETA's - Estações de Tratamento de Água.

FMEA - Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos.

GTAG - Grupo Técnico de Assessoramento à Gestão do Sistema Cantareira.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

OMS - Organização Mundial da Saúde.

ONU - Organização das Nações Unidas.

PDAD - Pesquisa Distrital por Amostra de Domicílios.

PNSH – Plano Nacional de Segurança Hídrica.

RA - Região Administrativa.

RIDE - Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno.

RMSP - Região Metropolitana de São Paulo.

Sabesp - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo.

SAD - Sistema de Apoio a Decisões.

SNIRH - Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos

TR - Tempo de Retorno.

UNESCO - Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura.

WEAP – Water Evaluation And Planning System.

SIG – Sistema de Informação Geográfica.

## 1. INTRODUÇÃO

A preocupação com a garantia da segurança hídrica para abastecimento é crescente no cenário brasileiro atual, especialmente devido ao agravamento da escassez de água em determinadas regiões. A crise hídrica que grandes centros urbanos têm enfrentado ocorre principalmente em função da expansão urbana motivada por crescimento populacional, de baixos índices pluviométricos e de falhas no gerenciamento integrado dos recursos hídricos.

Dentro desse contexto, a crescente demanda urbana de água aliada com a baixa oferta em certos centros urbanos é um grande desafio para a gestão das águas tanto para abastecimento humano quanto para os demais usos de água, como atividades relacionadas à agricultura, pecuária, indústrias e setor energético.

Hespanhol (2008) e Guedes *et al.* (2014) discutiram que a proposta para solucionar a questão da disponibilidade hídrica inicialmente tinha foco em ações que promovessem a expansão da oferta, principalmente investimentos diretos em obras hidráulicas. Entretanto, mais recentemente e motivado por elevados custos econômicos, sociais e ambientais dessas medidas estruturais, levantam-se propostas para investimentos em gestão hídrica, em que seja incentivado o uso racional da água disponível, por intermédio de medidas de gerenciamento da demanda.

A gestão integrada dos recursos hídricos busca um planejamento sistemático que tem como objetivo a alocação, desenvolvimento sustentável e monitoramento dos recursos de modo a assegurar o equilíbrio entre oferta e demanda de água, por meio de medidas que possam auxiliar principalmente em regiões que se encontram em situação crítica de escassez hídrica.

Dentro do contexto da crise hídrica do Brasil, regiões como São Paulo tiveram que se empenhar em estudar medidas de enfrentamento da crise de abastecimento. Tais medidas, segundo os autores Savenije e Van Der Zaag (2002), implicam na utilização de alternativas que permitem a redução do consumo, tendo como exemplo controle de vazamento na rede de distribuição de água, assim como adoção de métodos de irrigação localizada. Podem ser também medidas não estruturais que são investimentos em campanhas de conscientização, outorga dos direitos de uso da água, tarifas de consumo de uso de recursos hídricos e programas ambientais.

Santos e Teixeira (2015) afirmam que a crise hídrica no Brasil vem deixando um legado, como a responsabilidade compartilhada do uso consciente dos recursos hídricos. Os autores destacaram ainda que a população passou a ter o entendimento de que a água é de

fato um recurso finito e deve ser preservado, e que o gerenciamento desse recurso deve envolver todos os setores da sociedade. Ressaltaram também que devem ser determinadas as etapas para assegurar a segurança hídrica, com a participação tanto em nível governamental bem como em nível individual. Foi salientado que o planejamento de gestão dos recursos hídricos deve ser feito em longo prazo de forma sustentável.

No Distrito Federal, o índice de atendimento urbano de água é de 97,82% de acordo com dados estatísticos da Pesquisa Distrital por Amostra de Domicílios – PDAD 2013/2014 (Codeplan), sendo que o reservatório do Descoberto, um dos principais sistemas de produção de água tratada, é o responsável por atender 61,5% da população do Distrito Federal. Entretanto, desde meados de 2016, o Distrito Federal enfrenta uma crise hídrica. Dados disponibilizados pela Adasa (2018) mostram que em 2017 o reservatório do Descoberto atingiu volume útil de 5,3%, a menor porcentagem desde o início do seu funcionamento. Sabe-se também que o segundo maior reservatório de Brasília, o Santa Maria, atingiu 22% de seu volume útil. Face ao cenário crítico que chegou a crise hídrica no DF, medidas emergenciais estão sendo adotadas, como investimentos na integração do sistema da rede de abastecimento, redução de perdas no sistema e desabastecimento temporário.

As medidas estruturais que foram adotadas no Distrito Federal estão contribuindo para reforçar o Sistema Santa Maria/Torto. O Subsistema emergencial do Lago Paranoá e o subsistema do Bananal estão interligados ao Sistema Santa Maria/Torto para que este consiga auxiliar o Sistema Descoberto, de maneira a atender demandas de certas Regiões Administrativas.

Este trabalho visa a avaliar a efetividade das medidas de enfrentamento da crise hídrica no sistema hídrico de abastecimento humano do Distrito Federal, buscando identificar por meio de modelagem matemática qual a influência dessas medidas no volume do reservatório do Descoberto e do Santa Maria. Para tanto, será utilizado o modelo *Water Evolution and Planing* que permitirá elaborar cenários das ações que foram apresentadas por cidades que enfrentaram a crise, assim como cenários das medidas mencionadas no Plano de Enfrentamento à Crise Hídrica do Distrito Federal.

A primeira fase do trabalho é dividida em 6 capítulos. O primeiro trata da introdução acerca da importância deste trabalho. O segundo capítulo consiste na apresentação dos objetivos, geral e específicos, que se planeja alcançar durante o desenvolvimento deste trabalho. No terceiro capítulo, é apresentada a revisão dos conceitos relevantes e das principais medidas que foram empregadas nas regiões que enfrentaram ou enfrentam a crise hídrica e descrição dos modelos de apoio à tomada de decisão, com enfoque no modelo

WEAP que será utilizado no presente estudo. No quarto capítulo, é apresentada a metodologia que foi aplicada para o desenvolvimento do trabalho a fim de obter os resultados que estão apresentados no quinto capítulo, o capítulo sexto será apresentada a conclusão que foi alcançada após a discussão dos resultados. Enfim, são apresentadas as referências bibliográficas utilizadas neste trabalho.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Avaliar a efetividade de medidas de gerenciamento da demanda no sistema hídrico de abastecimento humano do Distrito Federal em situações de restrição hídrica.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Modelar o Sistema hídrico do Descoberto e de Santa Maria/Torto com uso da plataforma WEAP;
- Definir e representar alternativas de gerenciamento dos Sistemas Descoberto e Santa Maria/Torto e de medidas de gestão da demanda para elaboração de cenários futuros de operação desses sistemas como forma de enfrentamento de situações de escassez hídrica;
- Avaliar a influência dessas medidas de mitigação da crise hídrica nos volumes dos reservatórios do Descoberto e do Santa Maria/Torto.



### **3. REFERENCIAL TEÓRICO E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

A partir da análise dos objetivos apresentados, nesta seção, serão descritos conceitos relevantes da área de gestão hídrica, como as abordagens de segurança hídrica, oferta e demanda em grandes centros urbanos, apresentando informações pertinentes para o desenvolvimento do trabalho. Ademais, será discutido sobre as medidas que grandes centros urbanos utilizaram para mitigar a crise hídrica. Ao final do capítulo, serão apresentados os programas que se utilizam na gestão dos recursos hídricos, em particular o programa WEAP, modelo que será utilizado neste trabalho.

#### **3.1 SEGURANÇA HÍDRICA PARA ABASTECIMENTOS URBANOS**

Há a necessidade de políticas eficazes para a garantia de água para o abastecimento urbano devido à realidade brasileira de abastecimento público de água que tem um déficit de 16,7%, ou seja, mais de 35 milhões de brasileiros não têm acesso a este serviço de acordo com os dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (2015). Soma-se ainda a essa realidade de aumentos de eventos hidrológicos extremos (ANA, 2016). Para a construção de um modelo de gestão focado no resultado e na efetividade da política da água, surgiu o conceito de segurança hídrica (Melo, 2016). Na literatura, esse conceito é apresentado sob diversas abordagens.

De acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU), o conceito de segurança hídrica se refere a "assegurar o acesso sustentável à água de qualidade, em quantidade adequada à manutenção dos meios de vida, do bem-estar humano e do desenvolvimento socioeconômico; garantir proteção contra a poluição hídrica e desastres relacionados à água; preservar os ecossistemas em um clima de paz e estabilidade política". A Agência Nacional de Águas acrescenta que "Promover a segurança hídrica é contribuir com a manutenção da vida e deve ser o foco principal daqueles que realizam a gestão dos recursos hídricos, assim como de toda a sociedade".

Melo (2016) definiu em sua pesquisa a segurança hídrica para abastecimento urbano de água como sendo a garantia de provimento de quantidade e qualidade de água bruta satisfatória para o abastecimento público, associado a um risco de escassez hídrica e tendo como referencial a bacia hidrográfica. Essa é uma proposta que busca garantir quantidade suficiente de água para o abastecimento, integrando no contexto local da bacia hidrográfica, no qual se devem considerar os múltiplos usos da água assim como a captação de água para usuários a montante e a jusante do reservatório. A pesquisa foi desenvolvida com o apoio de

um modelo analítico que avaliava o nível de segurança hídrica aplicável ao sistema de abastecimento, o Sistema usado foi o rio das Velhas- Belo Horizonte (MG). O modelo proposto avalia as características mensuráveis dos estressores (são eles pressões ambientais, demanda de água, poluentes e eventos hidrológicos extremos) e busca entender os riscos que perturbariam o sistema de abastecimento em termos de disponibilidade quali-quantitativa de água bruta. Com o uso do modelo Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos, foram estudadas formas de minimizar esses riscos, de forma, a saber, quais são as políticas que devem ser implantadas e quando aplicá-las para garantir a segurança hídrica. É importante salientar que esse modelo foi validado pela aplicação dos dados meteorológicos, hidrológicos e ambientais da bacia do rio das Velhas.

A UNESCO considera a segurança hídrica como a capacidade de se garantir o acesso à água de qualidade e com quantidade suficiente de forma a assegurar uma vida de qualidade à população. No *workshop* que abordou os impactos climáticos e as respostas de adaptações na África, Américas e Ásia, a Unesco apresentou as seguintes diretrizes para se alcançar a segurança hídrica, (UNESCO, 2015 *apud* Melo, 2016):

1. Melhor gestão das informações, uso de metodologia de coletas de dados, desenvolver uma base de conhecimento sobre a avaliação de vulnerabilidade do sistema, de modo a ter um gerenciamento melhor dos dados;
2. Ter um monitoramento contínuo, para se ter o conhecimento da atual capacidade disponível do local, e comunicar ao governo e comunidades locais;
3. Implantar a avaliação da instabilidade do sistema de forma multisetorial e multiriscos considerando as mudanças climáticas assim como o uso do solo e crescimento populacional;
4. Implantar as avaliações de forma integrada, considerando o socioeconômico e características humanas, além de oferecer opções para fortalecer a capacidade de adaptações da população;
5. Colaboração internacional para reforçar a seriedade da segurança hídrica do país.

Percebe-se que o conceito de segurança hídrica propõe o equilíbrio das necessidades hídricas humanas e ambientais a fim de proteger a biodiversidade e serviços dos ecossistemas e garantir água em qualidade e quantidade para o abastecimento público e demais usos, promovendo o desenvolvimento econômico (ANA; PNSH, 2014).

## **3.2 OFERTA E DEMANDA EM GRANDES CENTROS URBANOS**

O Brasil dispõe de uma vasta oferta de água em relação a outros países, ele possui 12% das reservas de água doce disponíveis no mundo (ANA, 2015). Singapura é um dos países que menos possui água doce disponível (Nunes, 2009), e por isso teve que estabelecer estratégias na sua gestão da água para garantir o abastecimento, sendo que as alternativas foram o reaproveitamento de água da chuva e reuso e dessalinização da água, dentre outros (Juntos pela água, 2017). Entretanto, no Brasil apesar de haver grande disponibilidade de água, há uma distribuição espacial desigual. De acordo com Rebouças (2006) 80% dessa água está concentrada na bacia da Amazônia. Embora tenha abundância de água doce, no país existem sérios problemas no tocante à disponibilidade de água para o sistema de abastecimento público de água, principalmente em grandes centros urbanos, no qual a demanda por água é maior do que a oferta.

O uso e ocupação desordenado do solo somados com a falta de gestão dos recursos hídricos acarretam em risco da qualidade e disponibilidade de água nas bacias hidrográficas com adensamento populacional intenso (Herrera, 2013). Nas regiões hidrográficas banhadas pelo Oceano Atlântico, que concentram 45,5% da população do País, tem-se disponível apenas 2,7% dos recursos hídricos do Brasil (ANA, 2016).

### **3.2.1 Oferta de água no Brasil**

Tem-se estudado o regime pluviométrico no Brasil, e constatou-se que no período de 2014 a 2016 o comportamento da chuva foi atípico. Os relatórios realizados pela ANA mostraram que tanto o ano de 2014 quanto o ano de 2015 foram caracterizados por eventos extremos.

A metodologia adotada pela ANA com objetivo de avaliar o grau de excepcionalidade em relação à escassez ou excesso da precipitação usou como base os dados de uma série histórica de precipitação de 30 anos, foi considerada até o ano de 2011. A série foi referente ao ano hidrológico e tendo como base essa série, foi possível estimar e espacializar os TR referentes à precipitação acumulada no ano hidrológico de 2015.

A Figura 3.1 aponta que a região com cores quentes indica baixa pluviosidade com TR acima de 10 anos, e cores frias indica alta pluviosidade. Entretanto, a ausência de cor indica que a região está dentro dos padrões de precipitação.

Conforme a Figura 3-1, o ano de 2015 foi marcado por chuvas intensas na região Sul. Contudo, nas regiões Sudeste, Nordeste, Norte e Centro-Oeste, apresentaram baixas precipitações. É importante salientar que estudos apontam que a precipitação está atípica no

Distrito Federal, apesar de não está ilustrado na figura 3-1.

Dentro desse contexto, observa-se uma irregularidade na disponibilidade de água. Ainda com base na Figura 3-1, é possível inferir as regiões que precisam de gerenciamento no tocante a oferta de água, para mitigar os problemas de estresses hídricos. É notável que os baixos índices de precipitação aliados com a variabilidade do regime de precipitação, contribuem para que os níveis dos rios se reduzam e consequentemente ocorra a redução do volume hídrico nos reservatórios. Porém, essa questão pode ser mitigada com o uso da gestão integrada dos recursos hídricos.

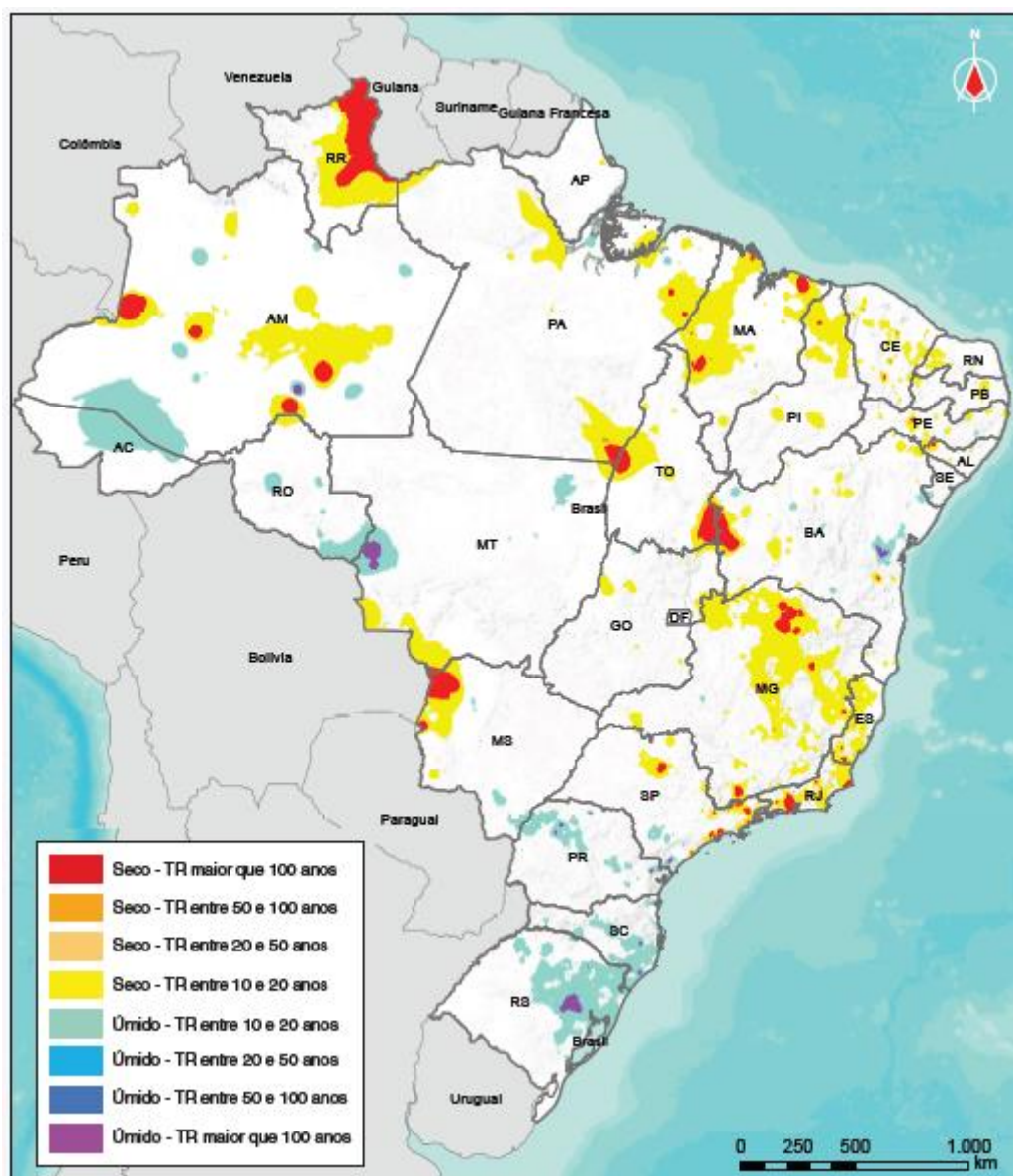


Figura 3-1: Tempos de Retorno da precipitação anual no Brasil para o ano hidrológico 2015 (Fonte: ANA, 2016).

Na figura 3-2 é possível perceber que o volume de água armazenado nos reservatórios integrantes do Sistema Interligado Nacional (SIN) que se encontram em três regiões hidrográficas: Paraná, Tocantins- Araguaia e São Francisco decresce entre 2012 a 2015 e apresenta aumento no ano de 2016. Essas regiões totalizam mais de 266 bilhões de m<sup>3</sup>.

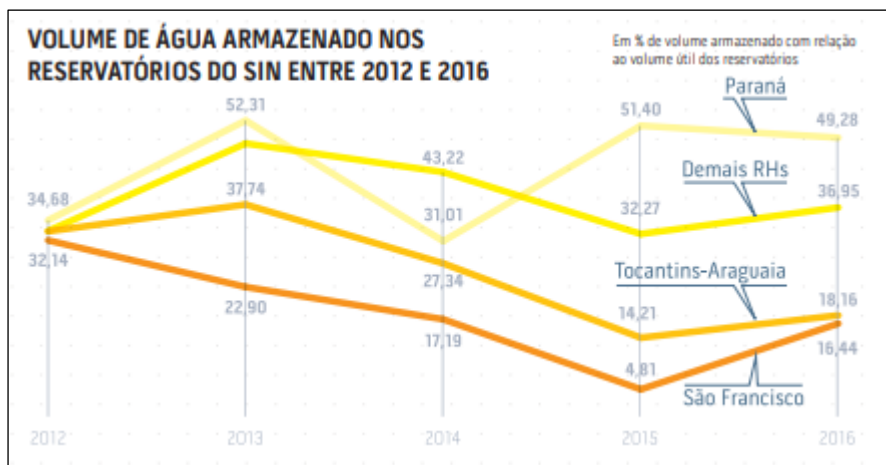


Figura 3-2: Volume de água armazenado nos reservatórios entre 2012 e 2016 (ANA, 2017).

### 3.2.2 Demanda e uso múltiplos da água no Brasil

De acordo com o relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2016 disponibilizado pela ANA, ressaltam-se quais são as demandas hídricas e os usos feitos pela população, sendo apresentados na Figura 3.3.

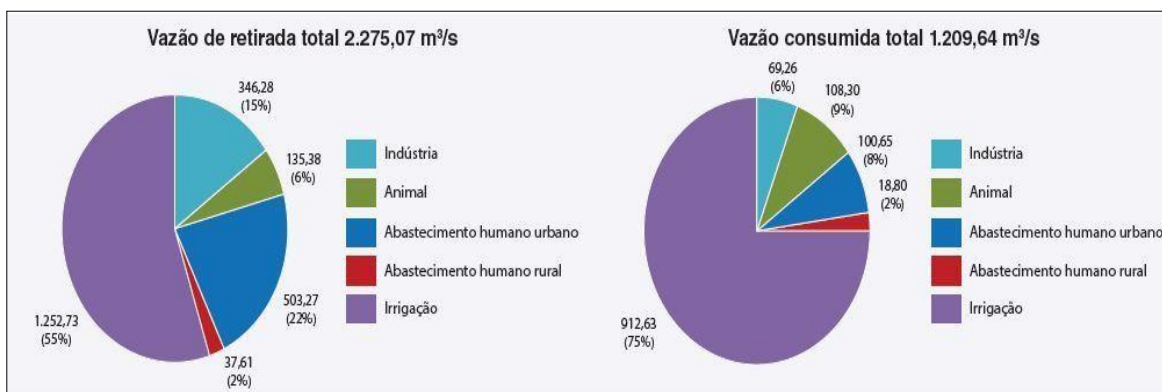


Figura 3-3: Demanda consuntiva total no Brasil (m³/s) (Fonte: ANA, 2015).

A vazão de retirada representa a demanda hídrica que é o volume de água retirado de um corpo d'água em um intervalo de tempo. A demanda considerada foi a consuntiva, sabe-se que nesse tipo de uso uma parte da vazão de retirada retorna ao ambiente, a chamada vazão de retorno que é calculada a partir da multiplicação da vazão de retirada pelo coeficiente de retorno. Cada uso possui um coeficiente diferente estabelecido pela literatura.

A vazão consumida total é a diferença entre a vazão que foi retirada e a vazão de retorno. A Figura 3-3 mostra que a irrigação é responsável pela maior parcela de retirada de água com 55%, em seguida é o abastecimento urbano com 22%.

Na Conjuntura de recursos hídricos (2016) realizada pela ANA também foi feito o diagnóstico das bacias brasileiras, apontando o balanço entre a oferta de água e as demandas quantitativas. Na Figura 3.4 é mostrado o balanço hídrico entre disponibilidade e demanda de recursos hídricos no Brasil, definindo quais são as áreas críticas em relação ao balanço quali-quantitativo. A Figura 3.4 serve como norteador para elaboração de planos e ações necessárias na bacia. É importante salientar que para essa análise espacial foi considerada a variação sazonal da demanda de uso da água para irrigação.

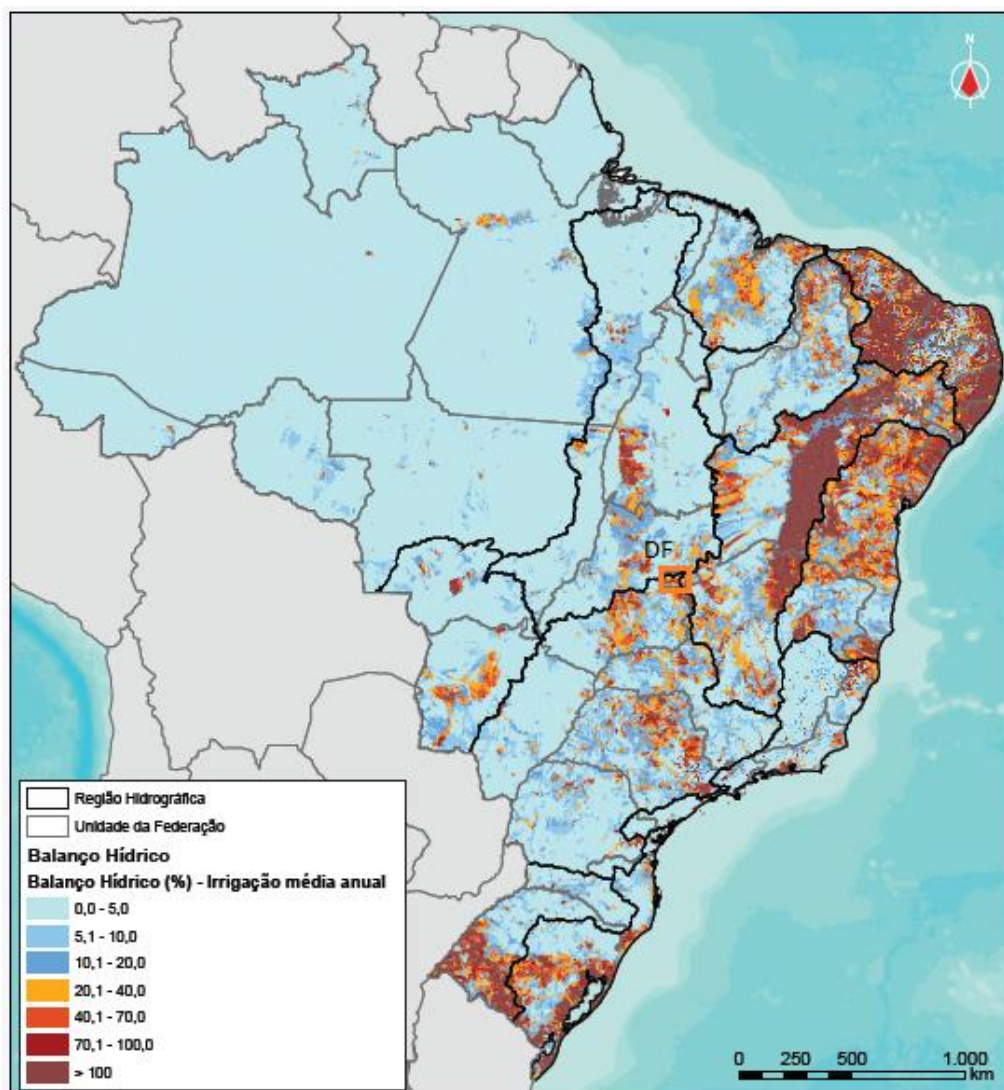





Figura 3-4: Balanço Hídrico no Brasil(Fonte: ANA, 2016).





O balanço hídrico foi realizado mediante a análise da razão entre a vazão de retirada e a disponibilidade hídrica (ANA, 2016). Esse balanço foi classificado em intervalos. A classificação para cada faixa consiste no conceito usado pela *European Environment Agency* e pelas Nações Unidas, tendo como base o índice de retirada de água ou *water exploitation index*. (ANA, 2010). As classificações foram representativas para o Brasil, e são as seguintes:

 <5,0 - Excelente. Água é considerada um bem livre. Pouca atividade de gerenciamento necessário.

 5,1 a 10,0 - Situação confortável. Pode ocorrer a necessidade de gerenciamento para resolver problemas locais de abastecimento.

 10,1 a 20,0 – Preocupante. Necessidade de gerenciamento e realização de investimentos médios.

 20 a 40 – Situação crítica. Exige intensa atividade de gerenciamento e investimentos significativos.

 >40 – Situação muito crítica. Carecem de intensa atividade de gerenciamento e acentuados investimentos.

Nesse contexto, percebe-se que a região Norte possui em quase a totalidade do território um balanço quali-quantitativo excelente devido à grande disponibilidade e baixa densidade, pode-se concluir também que os problemas com a falta de gerenciamento são pontuais. A região Nordeste quase em sua totalidade está em uma situação crítica, possui um estresse hídrico devido à baixa disponibilidade hídrica. Já as bacias da região Sul que se encontram em situação crítica, o estresse hídrico é relacionado com a elevada demanda para irrigação. Contudo, as bacias da região Sudeste se apresentam em situação altamente crítica por conta da baixa oferta de água e intensa demanda. No que tange o Centro-Oeste do país, destacados em alguns pontos em vermelho e laranja, se encontram em uma situação crítica em determinadas áreas em destaque para o Distrito Federal, fato que ocorre principalmente pela falta da disponibilidade hídrica e elevadas temperaturas.

### **3.3 CRISE HÍDRICA NO BRASIL**

Nas duas últimas décadas, tem-se alertado para o fato da escassez hídrica mundial. No ano de 2014 em especial, regiões que não tinham uma percepção dessa realidade, enfrentaram rigorosa crise hídrica, como no caso da Região Sudeste e Centro Oeste. As principais causas foram o aumento da população, por conseguinte o aumento da demanda de água em áreas urbanas e intensa ocupação do solo, agregada também a escassez de

precipitação e também a ausência de planejamento adequado para os recursos hídricos. Esses fatos impulsionaram a crise hídrica em todo o país. É notável que a escassez hídrica ocasione impactantes consequências econômicas e sociais (Cerqueira, 2015).

A crise da água é, antes de tudo, uma crise de gestão desse recurso natural, mais do que a escassez ou contaminação (Rebouças, Braga & Tundisi, 2006). Para que essa gestão seja eficaz e otimize os usos múltiplos de demanda da água e sua conservação é essencial uma integração entre o conhecimento científico adquirido e o gerenciamento.

Dentro desse contexto, as grandes metrópoles estão enfrentando grandes problemas de escassez hídrica. A ANA (2016) identificou as cidades em situação crítica no que se refere ao abastecimento urbano. São locais que carecem de reforço de infraestrutura hídrica e de uma melhor gestão dos recursos para assegurar a oferta de água. Na Figura 3-5 são apresentadas as cidades que possuem maior vulnerabilidade no sistema de abastecimento urbano.

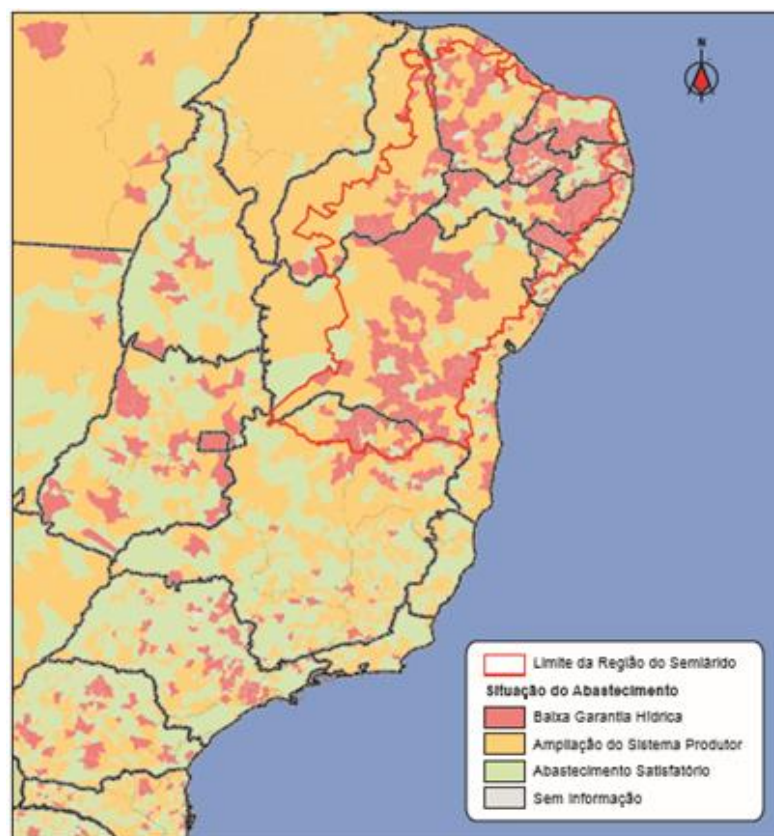


Figura 3-5: Situação do abastecimento urbano de água nos municípios brasileiros (Fonte: ANA, 2016).

As áreas que apresentam baixa garantia hídrica estão nas regiões Nordeste, Sudeste e Centro Oeste. Em destaque na região Sudeste pode se perceber a fragilidade no abastecimento da Macrometrópole Paulista e na região Centro Oeste, algumas cidades em



situação crítica assim como o Distrito Federal.

### 3.3.1 Crise hídrica em São Paulo

Presentemente, cerca de 20 milhões de habitantes constituem a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) que é composta por 39 municípios, sendo que 34 fazem parte da bacia hidrográfica do Alto Tietê. Esta ocupa área de 5985 km<sup>2</sup> (Jacobi *et al*, 2015). A responsável pelo abastecimento de água na região é a Sabesp, que atende 56 % dos municípios, e chega a produzir e transportar água para uma população em torno de 9 milhões de habitantes (Chess, 2015).

De acordo com Jacobi, ainda no ano de 2013, os municípios do estado de São Paulo enfrentaram dificuldades para sustentar o abastecimento de água, em razão dos baixos níveis de água nos reservatórios, fato que configurou uma crise hídrica na RMSP. A escassez hídrica, como já mencionada antes, intensificou-se com a seca que atingiu a região sudeste em 2014-2015. Os níveis dos principais reservatórios da região estavam diminuindo gradativamente, o que gerou grande atenção para se tomar medidas frente à crise que atingia principalmente o Sistema Cantareira.

O Sistema Cantareira é usado desde 1974 e tem autorização para utilizar uma vazão máxima de 33 m<sup>3</sup>/s. Ele é formado por seis reservatórios, sendo eles Jaguari, Jacaré, Cachoeira, Atibainha, Paiva Castro e Águas Claras. Os quatro primeiros formam um sistema equivalente. A Figura 3-6 mostra um esquema do sistema Cantareira, apontando quais são os afluentes dos reservatórios.



Figura 3-6: Esquema representativo do Sistema Cantareira (Fonte: ANA, 2015).

Conforme a Agência Nacional de Água (2014), em decorrência da redução de precipitação nos afluentes do Sistema, ocorreu a redução das vazões mensais médias nos reservatórios. Pode-se observar da Figura 3-7, que o período de 2013-2014 esteve abaixo da média, chegando a registrar 8,70 m<sup>3</sup>/s em 2014, a menor vazão média registrada no histórico desde iniciado o funcionamento do sistema.

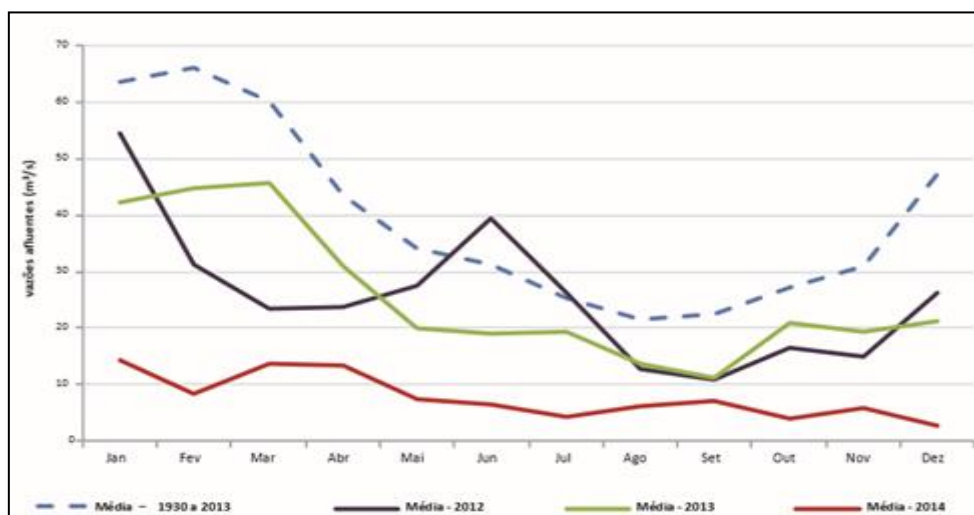


Figura 3-7: Vazões mensais afluentes ao Reservatório Equivalente do Sistema Cantareira (Fonte: Diário ANA/DAEE monitoramento do Sistema Cantareira, 2015 – chess).

Frente a vários riscos que impediam de assegurar o abastecimento para a população, foi adotada uma série de medidas para garantir a segurança hídrica. As medidas adotadas pelos órgãos reguladores, formados pela ANA, Departamento de Águas e Energia Elétrica e um grupo instituído Grupo Técnico de Assessoramento à Gestão do Sistema Cantareira (GTAG-Cantareira), foram medidas que influenciaram no racionamento progressivo da vazão total retirada do sistema. Essa ação foi divulgada pela ANA/DAEE em um comunicado conjunto, na qual foi dada início em março de 2014. Com isso a vazão máxima de retirada passaria de 27,9 m<sup>3</sup>/s (março de 2014) para 19,7 m<sup>3</sup>/s (julho de 2014).

Para manter as condições operacionais dos reservatórios, necessitaram aplicar metodologias que permitissem a redução das vazões produzidas pelo Sistema Cantareira. No plano de enfrentamento da crise hídrica foram apresentadas as seguintes medidas:

1. Rodízios:

Os rodízios acontecem com interrupções planejadas no fornecimento de água à população, revezando um dia com ou sem abastecimento. Essa medida tem como objetivo tanto reduzir a vazão disponível para os habitantes quanto a vazão de retirada do manancial. O rodízio pode ser brando ou severo a depender da periodicidade e da suspensão do

abastecimento (Sabesp, 2014).

A Companhia de Saneamento Básico de São Paulo (Sabesp) aponta como vantagens do rodízio a redução obrigatória do consumo *per capita*, porque controla uma parcela da população que não iria economizar e que passaria a economizar. Com isso, para a implantação do rodízio foi feita uma divisão em blocos da região do Sistema Cantareira.

De outro ponto de vista, as desvantagens que a Sabesp ressaltou foram os riscos sanitários, como a entrada de ar e águas contaminadas nas redes de abastecimento que podem influenciar na qualidade da água, além de levar ao acréscimo de consumo medido ao atravessar pelo hidrômetro; aumento das perdas com vazamentos; necessidade de desenvolvimento de contingência para os serviços essenciais; gerar grandes perturbações sociais, os locais distantes e altos podem ficar sem água por mais dias, se houver eventual risco de descontrole operacional.

O Centro de Vigilância Sanitária de São Paulo (2015) informou que o rodízio deve levar em consideração o conforto do consumidor e, sobretudo ter cautela com a saúde da população. Sabe-se que o desabastecimento temporário pode promover a alteração da qualidade da água, e ter efeito adverso do real motivo da implantação dessa medida, não garantindo assim a segurança hídrica do abastecimento.

## 2. Ações de Contingência para Redução de Vazões:

Plano estruturado para redução das vazões retiradas do Cantareira. As estratégias foram baseadas em três pontos:

- a) Gestão de Consumo dos clientes;
- b) Transferência de água tratada de outros Sistemas Produtores;
- c) Programa de Combate às Perdas.

Essas medidas estratégicas para contenção da crise quando comparadas ao rodízio, têm um menor impacto para a população e apresentam menor risco operacional de implantação. Embora tragam menos prejuízo à população, existem as desvantagens, como a possibilidade da não participação voluntária da população para economizar água, além da incerteza na previsão dos resultados devido às ações acontecerem simultaneamente e em frentes diversas.

Devido à seriedade da crise hídrica que atingiu São Paulo no ano de 2013-2014,

houve a necessidade de se adotarem medidas para que fosse reduzida a vazão consumida do sistema Cantareira. A Sabesp optou para o enfrentamento da crise a priori pelas ações de contingência para redução de vazões ao invés da imposição de um rodízio (Souza *et al*, 2014).

#### *2.a) Gestão de Consumo dos Clientes:*

É um incentivo à redução do consumo de água dos clientes pela implantação do programa bônus. Essa ação consiste em incentivar a população a reduzir o consumo de água, mudando os costumes e rotinas. Foi investido massivamente na veiculação em mídias de comunicação de campanhas na área de educação ambiental que promovesse a redução do consumo de água. Uma vez o programa implantado na região atendida pelo Cantareira em fevereiro de 2014, começou-se também a ampliação para outros municípios operados pela Sabesp na RMSP em abril de 2014 (Chess, 2015).

O programa bônus consistia em o cliente atingir a meta de reduzir 20% de seu consumo em relação à média de consumo dos meses de fevereiro/2013 a janeiro/2014, com isso o cliente obteria uma bonificação de redução de 30% no valor das taxas de água e esgoto (Chess, 2015).

Mesmo com todas as campanhas de conscientização em um ano de vigência do Programa Bônus, alguns clientes continuaram consumindo água acima da média pré-estabelecida. Em vista disso foi aplicada a tarifa de contingência para inibir o consumo.

A tarifa de contingência é um mecanismo econômico de racionamento de água que acontece quando o cliente é cobrado por passar do consumo médio estipulado (Jorge, 2017). A Sabesp considerou a média de consumo de fevereiro/2013 a janeiro/2014. Essa tarifa também foi aplicada ao comércio e à indústria que possuísem contrato de Demanda Firme.

A Sabesp aplicou a tarifa de contingência da seguinte maneira, aos clientes que excedessem em até 20% a média do consumo, pagariam 40% a mais sobre o valor da tarifa, e aqueles que ultrapassarem os 20% da média seriam cobrados 100% sobre o valor da tarifa de água (Chess, 2015).

É importante ressaltar que para aplicar a tarifa de contingência deve-se atentar o que diz a Lei Federal nº 11.445/07. Ela explica que os instrumentos tarifários têm como objetivo cobrir as despesas adicionais causadas por situação crítica de escassez ou contaminação de recursos hídricos, de modo que seja indispensável a adoção do racionamento. Portanto, garantindo o equilíbrio financeiro da prestação de serviço e a gestão da demanda. Um dos

principais problemas relacionados à adoção de tarifas é que tal medida afeta de forma mais rigorosa a população com menor renda.

Os resultados que foram obtidos pela Sabesp após a aplicação de medidas para a gestão do consumo. Foram os seguintes:

Com a aplicação do programa bônus, 82% dos consumidores contribuíram para a redução do consumo de água em relação à média proposta pelo programa. Sendo que 72% obtiveram a bonificação na conta de água e 10% reduziram consumo sem conseguir atingir a meta, e não conseguiram o bônus. Entretanto 18% dos clientes continuaram consumindo acima da média estabelecida, desses 18%, tem-se que em 11% foi aplicada a tarifa de contingência e em 7 % não, pelo motivo de consumirem menos de 10 m<sup>3</sup>.

A Figura 3-8 mostra a economia mensal obtida com o programa, a partir de março de 2014.

Economia de água obtida com o programa (em m <sup>3</sup> /s)												
MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR
1,1	1,6	3,3	3,9	3,4	3,9	3,6	3,6	4,1	4,8	5,4	6,0	6,2

Figura 3-8: Economia de água obtida com o programa bônus (m<sup>3</sup>/s) (Fonte: Chess, 2015).

Com essa medida foi atingida a redução do consumo *per capita* na RMSP de 155 L/hab/dia em fevereiro/2014 para 118 L/hab/dia em março/2015.

## 2.b) Transferência de água tratada de outros Sistemas Produtores

Devido ao cenário de escassez em 2014, foi necessário adotar medidas como a integração e transferência de água entre os sistemas produtores, para que assim fosse aliviado o sistema Cantareira. O Programa Metropolitano de Água (PMA, 1995-2014), contribuiu com um conjunto de obras e ações que permitiram que cerca de 6,3 m<sup>3</sup>/s fossem transferidos para o atendimento da região que era abastecida pelo sistema Cantareira (março/2015).

Foram realizadas uma série de obras emergenciais, dentre elas ampliação da capacidade de tratamento de ETA's, implantação de adutoras para permitir transferências de água de um sistema para outro, assim como alteração de regras operacionais que possibilitaram a transferência de parte de vazões de outros sistemas para o Sistema Cantareira, além de obras para utilizar águas subterrâneas (Chess, 2015).

A Figura 3-9 apresenta o avanço dos sistemas sobre a região que era atendida pelo Sistema Cantareira, o avanço foi devido a uma maior integração do sistema. Essa logística permitiu a atenuação da crise das áreas atendidas pelo Sistema Cantareira (Chess, 2015).

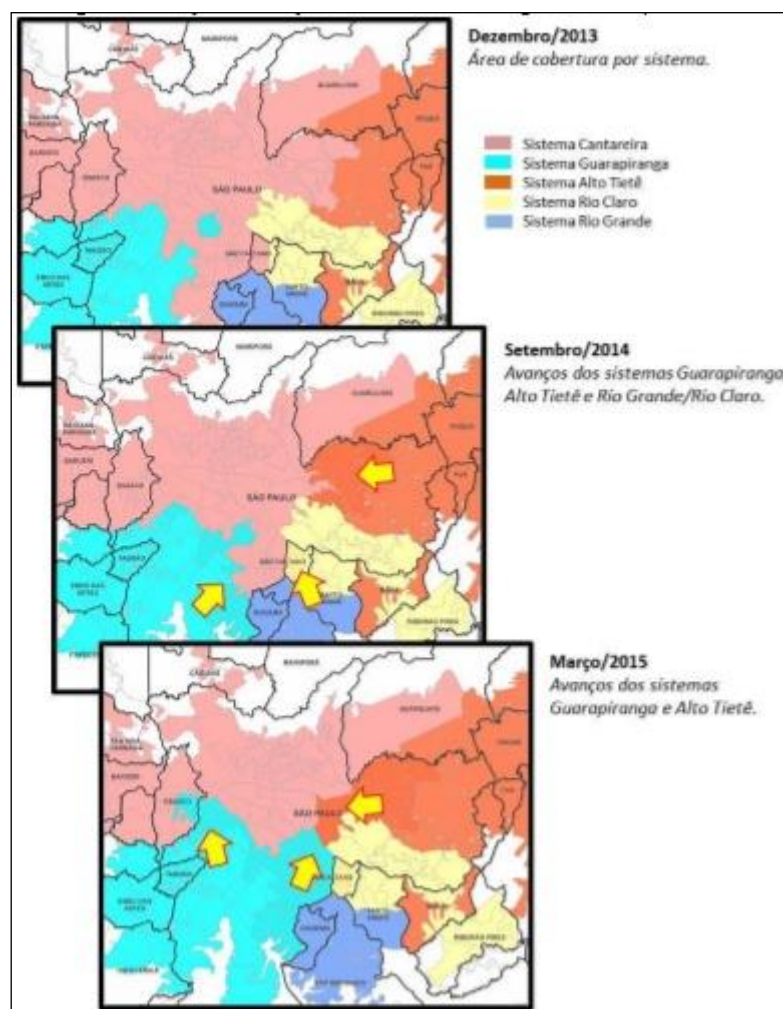


Figura 3-9: Evolução do avanço dos sistemas sobre a região atendida pelo Cantareira (Fonte: Chess, 2015).

### 2.c) Intensificação do Programa de Combate às Perdas

Trata-se de técnicas usadas pelas companhias de saneamento com o objetivo de reduzir as perdas por vazamentos e fraudes na rede de distribuição. Comumente é usada a redução de pressão nas tubulações, que funciona por meio do uso de equipamentos hidráulicos e da transmissão de dados capaz de monitorar em tempo presente a quantidade de água que está sendo transferida para determinada área e com isso é possível regular a pressão (Jorge, 2017).

Perdas reais são perdas físicas de água, decorrentes de vazamentos na rede de distribuição e extravasamentos em reservatórios, esse tipo impacta na disponibilidade de recursos hídricos superficiais e nos custos de produção de água tratada. Entretanto, as perdas aparentes são decorrentes de sub medição nos hidrômetros, fraudes e falhas do cadastro comercial, portanto, a água é consumida, porém não é faturada pela companhia de

abastecimento (Pauli, 2014).

Contudo, a aplicação desse programa pode afetar em parte o abastecimento de água, principalmente em locais mais distantes e em cotas elevadas. Além disso, pode haver rompimento da tubulação quando passa de uma pressão mais baixa para mais alta em um curto período de tempo. A recomendação da mínima pressão deve ser respeitada para que não ocorra a contaminação da rede por micro-organismos que comprometam a qualidade da água (Fernandes, 2004).

A Sabesp usou a seguinte metodologia a fim de intensificar a redução das perdas reais ou físicas (Chess, 2015):

- Instalação e otimização de VRPs (Válvulas Redutoras de Pressão);
- Implantação e revisão de setorização e DMCs (Distritos de Medição e Controle);
- Otimização de *boosters*;
- Pesquisa de vazamentos não visíveis por métodos acústicos;
- Apontamento de vazamentos pelos TACE (Técnico de Atendimento ao Cliente Externo);
- Mutirão de caça-vazamentos;
- Reabilitação e troca de redes de água;
- Intensificação da troca de ramais de água;
- Treinamento, qualificação e certificação da mão de obra;
- Redução dos prazos de atendimento para conserto de vazamentos.

Segundo a Sabesp, a medida de combate às perdas foi uma das principais para a atenuação da crise hídrica, por efeito desse programa a taxa média de perdas na Grande São Paulo reduziu de 1,2 pontos percentuais ao ano na última década. É importante ressaltar também que a diminuição da pressão foi responsável pela redução de 7,3 m<sup>3</sup>/s.

### 3. Utilização de Reservas Técnicas:

Apesar dessas ações e com a persistência da estiagem, foram necessários outros meios que contribuíssem para a mitigação da crise hídrica. Também foram desenvolvidas obras para utilização das reservas técnicas das represas do Cantareira. Essas obras permitiram o aproveitamento de 182,5 milhões de m<sup>3</sup> da reserva técnica das represas Jaguari/Jacareí e represa Atibainha. Com o sucesso dessa obra, foram executadas novas obras, as quais agregaram ao Sistema Cantareira 105 milhões de m<sup>3</sup> (Chess, 2015).

O resultado dessas obras contribuiu em 287,5 milhões de m<sup>3</sup>, com o volume útil de 982 milhões de metros cúbicos já existentes no Sistema Cantareira, atingindo um volume de

1269,5 milhões de metros cúbicos. Isso permitiu que no ano de 2014 não fosse implantado o rodízio.

#### 4. Ações institucionais

Para dar mais apoio ao combate à crise, um leque de ações foi desenvolvido, como campanhas de comunicação, com ênfase na importância de se economizar água, acordos entre associações com objetivo de ministrar palestra sobre a importância da economia da água e acordos com clientes privados para aplicação de medida que influenciasse na redução do consumo.

Os resultados dessas ações podem ser observados na Figura 3-10, na qual se verifica a gradativa redução da produção no Sistema Cantareira.



Figura 3-10: Redução da utilização de água do Sistema Cantareira (Fonte: Chess, 2015).

Essa redução de 56% significou uma economia de 17,73 m³/s. Desta economia, a Redução de Pressão/Controle foi responsável por 41%, a transferência de água de outros sistemas 36%, Programa de Bônus 20% e 3% são devido à redução das vazões entregues aos municípios permissionários.

Em relação a economia em m³/s obtida de fevereiro/2014 à março/2015 é apresentada na figura 3-11:



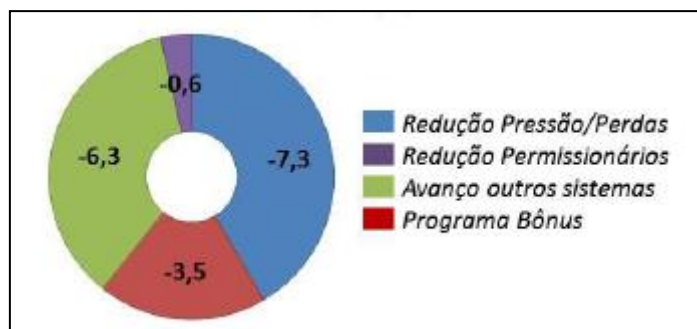


Figura 3-11: economia em m³/s por ação obtida em março no Sistema Cantareira.

Tem-se que a redução mais significativa foi devido à redução de pressão e consequentemente a diminuição de perdas, seguindo da inserção de outros sistemas para aliviar o Cantareira.

### 3.3.2 Crise em Campina Grande

Campina Grande é um município brasileiro no estado da Paraíba. Segundo o IBGE (2017) a população de Campina Grande está em torno de 410.332 habitantes. É considerado um dos principais pólos industriais da Região Nordeste.

O crescente processo de urbanização acarreta em uma maior demanda de água e quando não se tem uma gestão de águas eficaz agrava ainda mais na baixa disponibilidade hídrica. Campina Grande se localiza no semiárido brasileiro, região caracterizada pelos baixos índices pluviométricos, temperaturas elevadas e alta taxa de evaporação (ANA, 2006). Por estar em uma região de alta vulnerabilidade a segurança hídrica não está sendo garantida para toda a população.

A rede de distribuição de água de Campina Grande possui uma extensão com cerca de 500 km e atende a 113.619 ligações (CAGEPA, 2009). No ano de 2010 foi observado pela CAGEPA que 94% do volume foi para o consumo residencial. O reservatório Boqueirão que abastece a cidade está inserido na Bacia do rio Paraíba segundo a Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA). O açude de Boqueirão é operado pela Companhia de Água e Esgoto da Paraíba, esse açude já atingiu 3,5% da sua capacidade total, considerado o pior nível registrado desde a construção. Na Figura 3-12 é possível verificar o comportamento da curva do volume do reservatório decrescendo no período de 2015 a 2017.

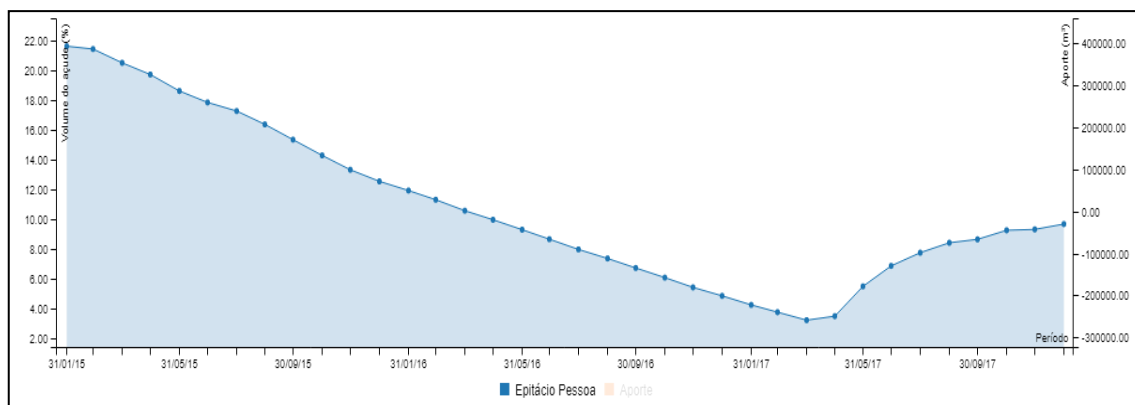


Figura 3-12: Comportamento da curva do volume reservatório do Boqueirão (Epitácio Pessoa) (Fonte: AESA).

Conforme o departamento Nacional de Obras Contra as Secas “A torre construída para auxiliar no monitoramento do volume do açude já está completamente descoberta. As duas comportas que captavam a água no fundo do açude por meio da gravidade já não têm mais água no entorno. Vários pontos do açude também se transformaram em ilhas.

Segundo o relatório Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil (ANA, 2014), desde abril de 2012 a ANA junto com outros órgãos governamentais propôs avaliar ações para minimizar os efeitos da seca nos municípios do semiárido brasileiro. Foi feito o levantamento de informações dos principais reservatórios e realizado um mapeamento da situação do abastecimento urbano reforçando o alerta de criticidade. O reservatório Epitácio Pessoa (Boqueirão) foi um dos reservatórios que a Agência Nacional de Águas priorizou com ações realizadas ou planejadas a partir de 2013.

O objetivo dessas ações é priorizar o abastecimento humano, portanto, foram estabelecidas regras de restrições de uso em alguns rios e açudes. As medidas regulatórias têm como objetivo aumentar a vida útil do manancial, as alternativas são apresentadas no art. 95, III XVII, do Regimento Interno, aprovado pela Resolução nº 2020, elaborado pela ANA em 2014, são elas:

- 7º de julho de 2014: Restrição de uso para irrigação ou outras finalidades.
- 1º de novembro de 2015: Redução da vazão de defluência de água do reservatório;
- 6º de dezembro de 2014: Suspensão temporária dos usos;

O plano de racionamento da água do açude de Boqueirão foi divulgado em novembro de 2014, quando o açude chegou a 100 milhões de m³. A CAGEPA teve que retirar água do reservatório de acordo com as resoluções da ANA. No dia 6 de dezembro a ANA estipulou uma vazão média de retirada de 1.352 L/s, com isso a população era atingida com 36 horas

de desabastecimento de água. Mesmo com a aplicação desse rodízio o volume do reservatório continuava a decrescer, chegando a atingir 18,9% da sua capacidade de armazenamento. Isso levou à segunda fase do racionamento (6 de julho) na qual a ANA autorizou a diminuição da vazão média mensal para 1.084 L/s, com isso a população passou a ficar 60 horas por semana sem água. Em outubro de 2015 o açude atingiu 14,2% do volume, a ANA permitiu a vazão média de retirada de 650 L/s, fato que ocasionou no abastecimento em 84 horas por semana. Quando em julho de 2016 o açude atingiu 8,2% da capacidade de armazenamento, com a vazão de 650 L/s autorizada pela ANA, mudaram a logística do racionamento e passou a ser de 45 horas alternando por duas zonas da cidade (Portal de Tratamento de Água, 2016).

Além dessas medidas foram adicionadas outras ações para a mitigação dos efeitos da seca, como as ações educativas para o consumo sustentável da água, fiscalizações de usos irregulares, investimentos em obras hidráulicas, como a construção de cisternas, recuperação de açudes e distribuição de água com caminhões pipas em regiões muito afetadas.

Embora as medidas que foram tomadas auxiliaram para que a população tivesse acesso à água, não foram suficientes para retirar Campina Grande da crise hídrica.

Dentro desse contexto, a solução mais esperada para atenuar a crise em Campina Grande foi a transposição de parte das águas do rio São Francisco, segundo a AESA que elaborou dois cenários um sem considerar que os açudes receberiam as águas do São Francisco e com a medida de racionamento, o resultado indicou que a cidade Campina Grande teria água por quase um ano. Entretanto considerando a transposição do rio São Francisco fornecendo 2400 l/s ao Estado da Paraíba e não aderindo o racionamento, a expectativa é que o reservatório Boqueirão alcance 37 milhões de metros cúbicos, com isso seria possível aliviar o Sistema do Boqueirão e a população estaria livre do racionamento.

De acordo com noticiários disponibilizados pela AESA, a medida da integração do sistema do rio São Francisco ao reservatório Boqueirão foi a principal medida para que fosse assegurado o abastecimento contínuo ao público. A partir da figura 3-13 é possível perceber que no começo de 2018 o volume do reservatório apresentou um significativo aumento, isso se deve além das medidas implantadas à integração com o rio São Francisco.

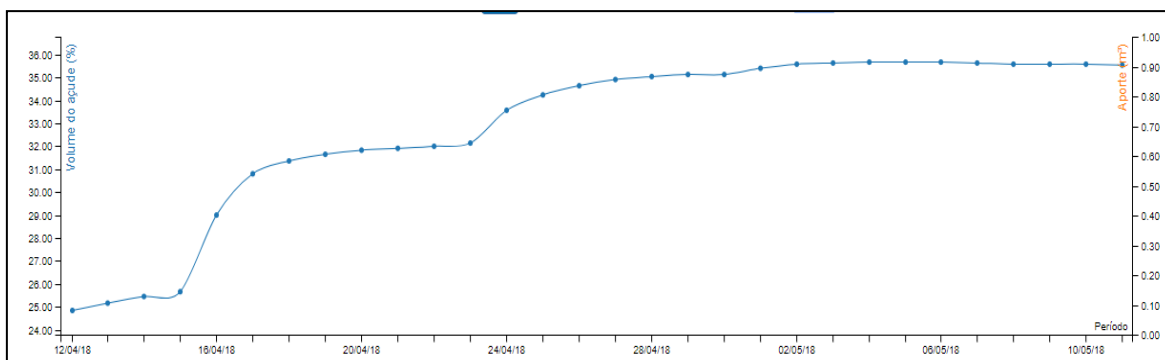


Figura 3-13: Comportamento do reservatório Boqueirão.

### 3.3.3 Crise hídrica no Distrito Federal

Atualmente a população do Distrito Federal está por volta de 3 milhões (IBGE, 2016). O DF é composto por 31 regiões administrativas e se divide em sete Bacias Hidrográficas: São Bartolomeu, Lago Paranoá, Descoberto, Maranhão, Preto, Corumbá e São Marcos (Figura3-14). O abastecimento público de água para a população é garantido por sistemas construídos e operados pela CAESB (Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal), a qual tem um índice de atendimento à população de 98,04% (CAESB, 2017). O Distrito Federal possui cinco sistemas produtores, são eles Descoberto, Santa Maria/Torto, Sobradinho-Planaltina, Brazlândia e São Sebastião.

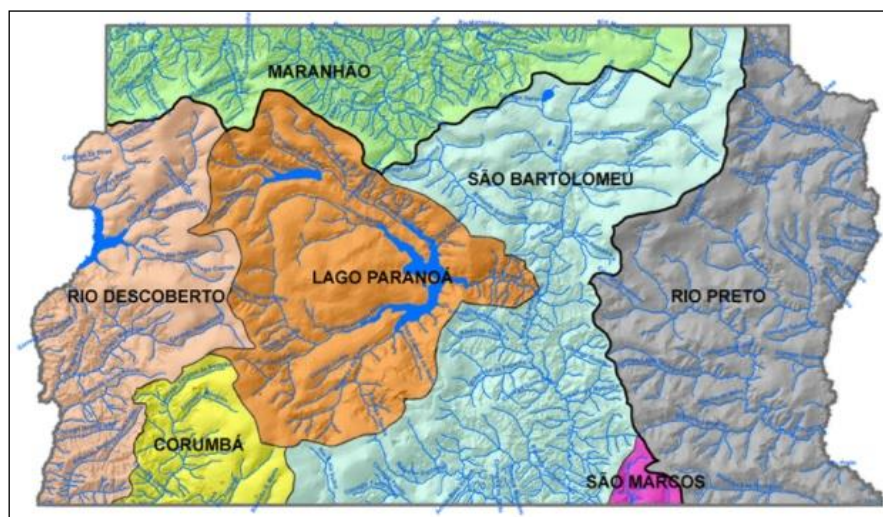


Figura 3-14: Divisão das bacias do Distrito Federal (Fonte: GGIRH, Adasa).

Na Figura 3-15 é mostrado o mapa dos sistemas de abastecimento da RIDE DF. É possível observar os sistemas existentes e os sistemas que estão em planejamento. Os Sistemas Descoberto e Santa Maria/Torto possuem duas principais ETA's (Descoberto e Brasília) e são interligados na distribuição de água tratada. As obras em planejamento para atender o aumento populacional são: Estação emergencial de Tratamento do Lago Norte (já está em

funcionamento), Sistema Bananal (já está em funcionamento), Sistema Corumbá e Sistema do Paranoá.

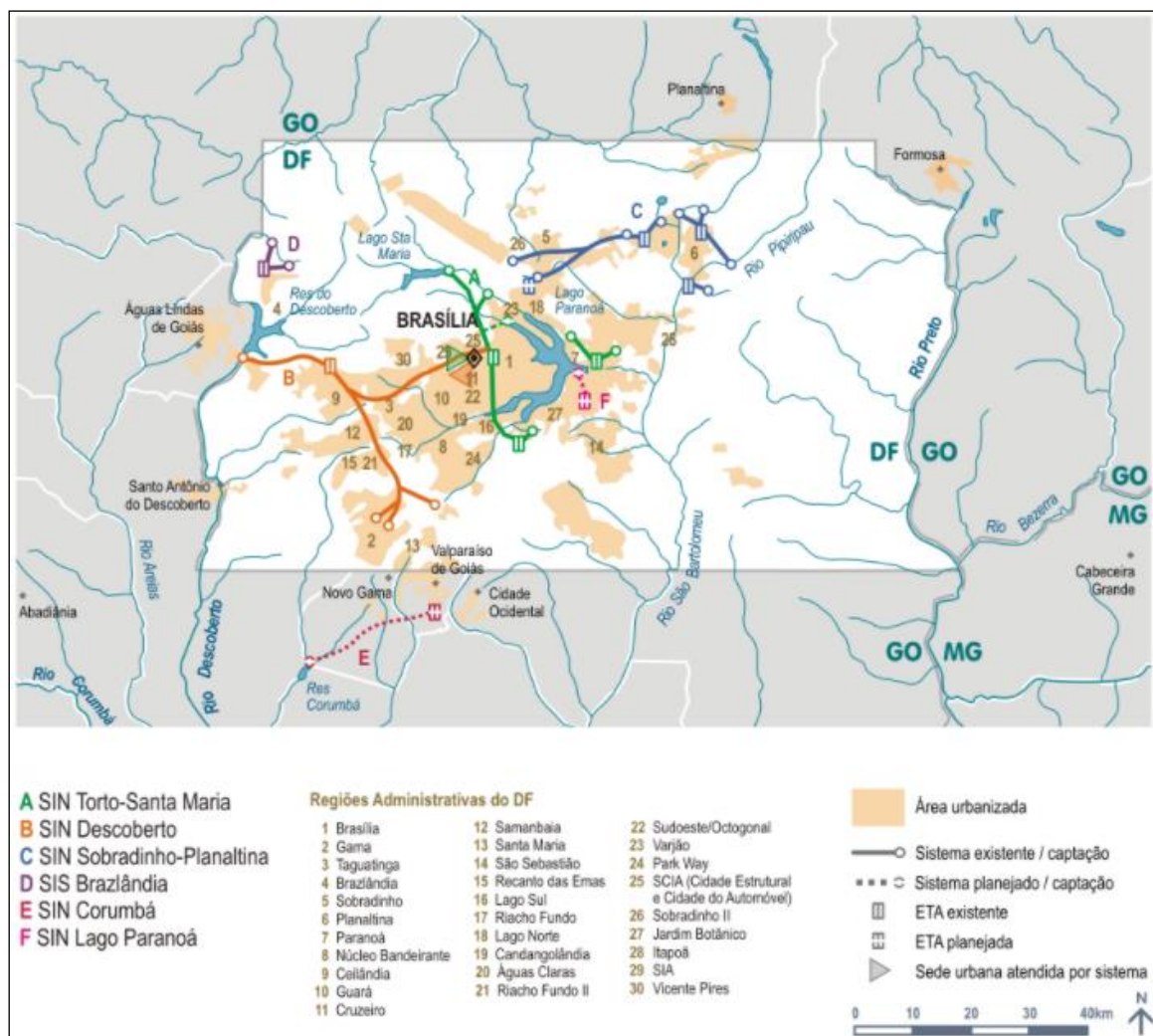


Figura 3-15: Sistemas de Abastecimento de água no Distrito Federal. (Fonte: ANA)

O Subsistema do Bananal foi previsto no plano diretor da Caesb como reforço estrutural ao Sistema Santa Maria/ Torto, de acordo com o Plano Integrado de enfrentamento da Crise Hídrica, e foi inaugurado em novembro de 2017. Esse Subsistema beneficia cerca de 170 mil habitantes do Plano Piloto, Cruzeiro e Lago Norte e contribui com uma vazão média de 700 L/s (Governo de Brasília, 2016).

O Subsistema Lago Norte (inaugurada em outubro de 2017) que retira água do lago Paranoá e é composto por uma Estação de Tratamento de água compacta abastece o Lago Norte, Varjão, Setor de Mansões do Lago Norte, Taquari, Paranoá e Itapoã (Governo de Brasília, 2016).

Essas duas obras além de contribuir com o Sistema Santa Maria/ Torto também

beneficia o Descoberto, porque a Caesb investiu em mecanismos para ampliar a transferência de água entre os dois maiores sistemas produtores de água do DF. Com esses novos subsistemas a água proveniente do Sistema Santa Maria/Torto que abastecia essas regiões que agora são abastecidas por esses subsistemas será transferida para outros dois reservatórios e ficará disponível para reforçar o abastecimento pelo Sistema Descoberto (Governo de Brasília, 2016).

Um sistema de bombeamento permite que algumas localidades que eram abastecidas pela Barragem do Descoberto possam também a receber água do Sistema Santa Maria/Torto ao invés de receber do Sistema Descoberto são elas: Guará I e II, Lúcio Costa, Colônia Agrícola Águas Claras, quadras de 1 a 5 do Setor de Mansões Park Way, Candangolândia, Núcleo Bandeirante e algumas quadras de Águas Claras (Governo de Brasília, 2016).

Os baixos índices de precipitação e altas temperaturas no Distrito Federal, associados ao uso intensivo do solo, acarretando em assoreamento de mananciais e nascentes, captações clandestinas e insuficiência de obras de melhoria para o sistema de abastecimento, culminaram na maior crise hídrica já enfrentada pela população, que afetou especialmente os sistemas de abastecimento Descoberto e Santa Maria/Torto (Governo de Brasília, 2016).

Conforme o inciso XII do art. 8º da Lei Distrital nº 4.285/2008, compete à Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal definir e fiscalizar as condições de operação de reservatórios no Distrito Federal, com o objetivo de garantir a segurança hídrica. A Figura 3.16 apresenta a curva de acompanhamento do volume útil do reservatório do Descoberto e a Figura 3-17 o reservatório de Santa Maria/Torto. O volume dos reservatórios atingiu menor nível histórico, segundo a Adasa (2017).

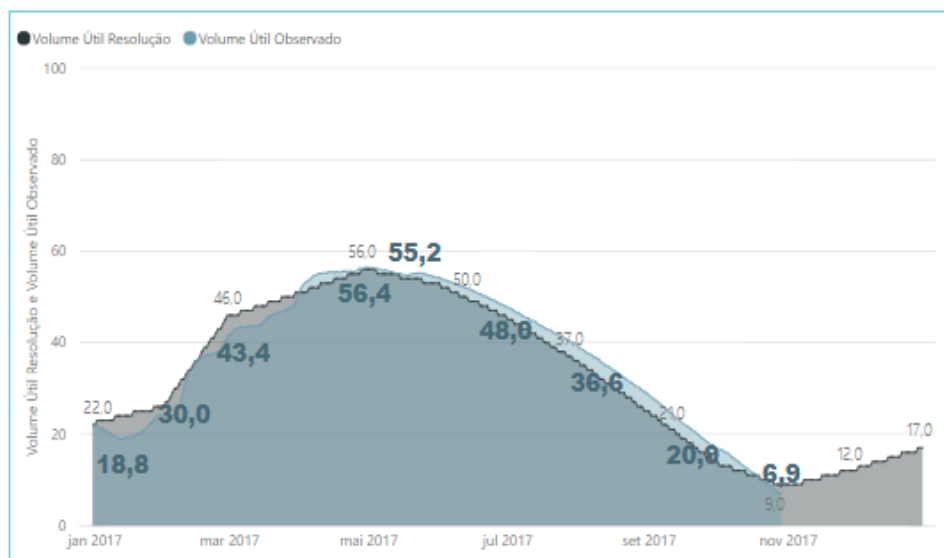


Figura 3-16: Curva de comportamento do volume útil do reservatório do Descoberto (Fonte: Adasa).

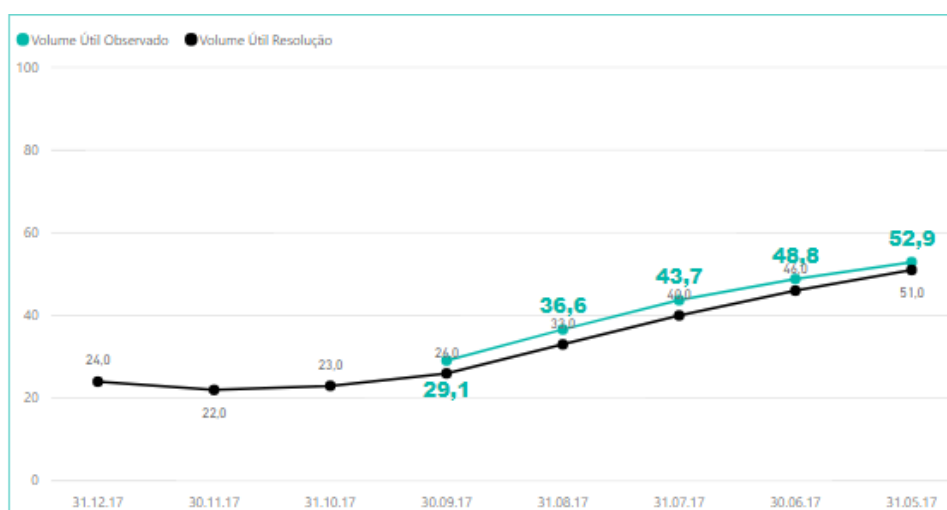


Figura 3-17: Curva de comportamento do volume útil do reservatório de Santa Maria (Fonte: Adasa).

O reservatório do Rio Descoberto é responsável por atender a demanda de 61,52% da população do Distrito Federal, e produziu uma vazão média de 4.530 L/s em 2017 e o Sistema Integrado Santa Maria/Torto produziu uma vazão média de 2.092 L/s em 2017 e atende 21,1% da população (ADASA, 2018). O reservatório do Descoberto contribui com 98,8% da produção desse sistema de abastecimento do Descoberto, sendo que isso representa 58,2% da produção de água para abastecimento (SIAGUA, 2014).

Após a contribuição de novos Subsistemas de captação de água, os Sistemas Santa Maria/ Torto e Descoberto foram aliviados, ou seja, a grande independência que existia

desses Sistemas para garantir o fornecimento de água para a população, agora passa a ser mais descentralizado o que deixa também os Sistemas mais flexíveis.

A distribuição dos usos de água do Sistema de abastecimento de água no Distrito Federal em 2016 aponta que o uso residencial é o que mais consome água, seguido do uso comercial. A Tabela 3.1 mostra o consumo (m<sup>3</sup>) anual das diferentes categorias. Esse dado é importante para perceber onde as ações de contingência devem se concentrar.

Tabela 3-1: Consumo Anual do abastecimento de água no DF em 2016 (Fonte: Governo de Brasília, 2017).

<b>Categoria</b>	<b>Volume Faturado em m<sup>3</sup></b>	<b>%</b>
Comercial	17.225.846	9,42
Industrial	841.495	0,46
Sistemas de Irrigação	116.305	0,06
Público	10.260.066	5,61
Residencial	154.428.746	84,45
<b>Total</b>	<b>182.872.458</b>	<b>100</b>

Em relação à participação percentual no consumo hídrico por Região Administrativa é apresentado na Figura 3-18 e é possível observar por RA onde está localizado o maior consumo de água e assim promover ações estratégicas para a redução do uso de água.



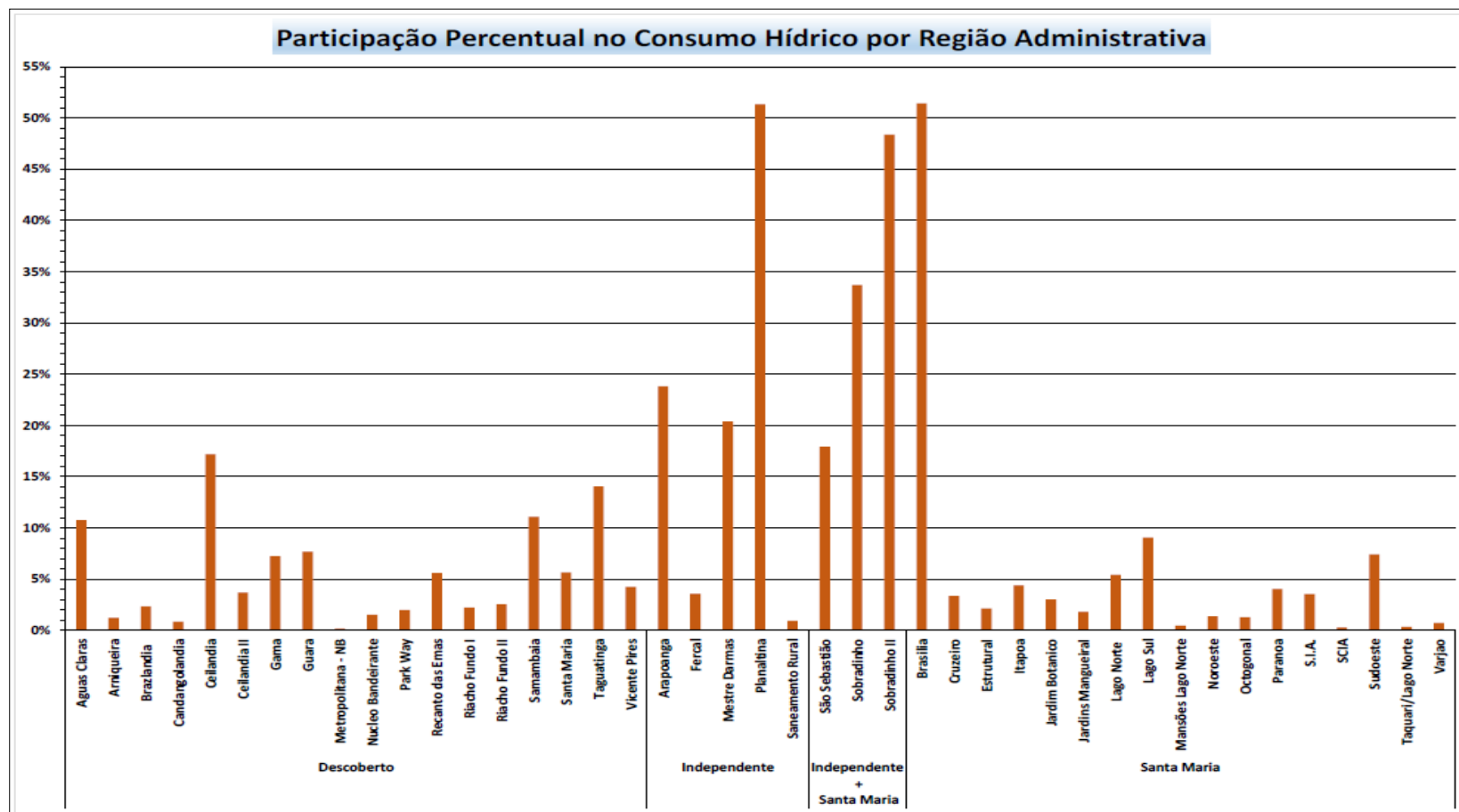


Figura 3-18: Consumo percentual por Região Administrativa e Sistema de Abastecimento (Fonte: Governo de Brasília, 2017).

A respeito das perdas nos Sistemas existentes a Figura 3-19 apresenta o volume (m<sup>3</sup>) mensal de perdas estimada causadas por ligações não autorizadas. É notável que as ligações não autorizadas levem a um desperdício significativo na rede de distribuição de água. Dentre as cidades abastecidas pelo o Sistema do Descoberto se destaca Taguatinga com 81.612 m<sup>3</sup> e Ceilândia com 76.950 m<sup>3</sup>.

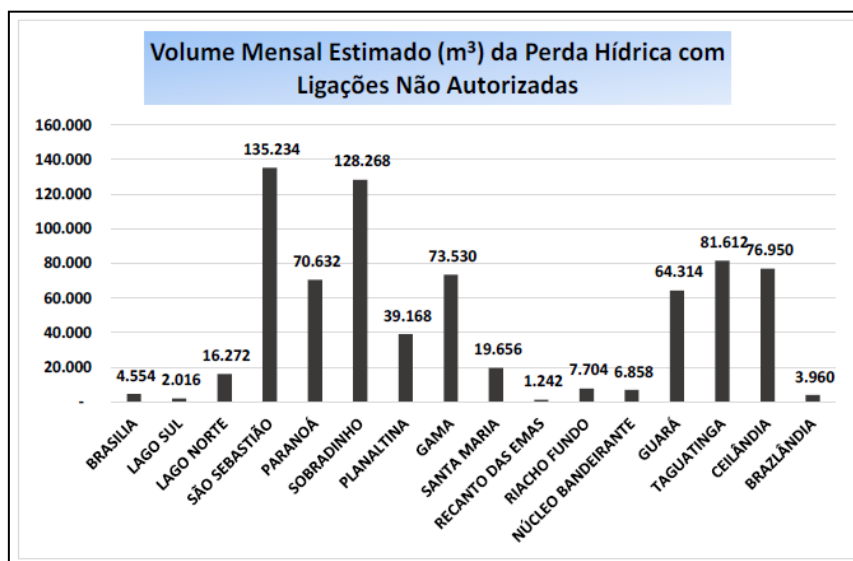


Figura 3-19 - Volume Mensal da perda hídrica com ligações não autorizadas (Governo de Brasília, 2016).

Diante dos dados apresentados a respeito do Sistema do Descoberto, o reservatório atingiu um baixo nível e com isso foram adotadas medidas de racionamento como o rodízio, redução de pressão e ligação entre outros sistemas, como por exemplo, algumas RA's que eram abastecidas pelo reservatório do Descoberto, passaram a ser abastecidas pelo Sistema Santa Maria/Torto.

Segundo o Decreto nº 37.644, de 20 de setembro de 2016, o governo estabeleceu medidas para sustentar o abastecimento da população, como por exemplo, políticas de redução de água pelos órgãos e entidades. Foi também elaborado um Plano de Captação Emergencial da Água no Lago Paranoá, tendo como objetivo subsidiar o Sistema Descoberto. Intensificou-se também na fiscalização dos mananciais, por meio de monitoramento de qualidade e quantidade dos recursos hídricos.

Entretanto, devido ao ritmo de queda do nível do reservatório, somado à escassez de chuva que atingiu a região e ao alto nível de consumo da população, a média do consumo de água no Distrito Federal foi de 175,1 L/hab.dia em 2016 (SNIS, 2016). Foi desenvolvido o

Plano Integrado de Enfrentamento à Crise Hídrica, com o objetivo de detalhar as estratégias de ações adotadas para o enfrentamento da crise. Foram essas as medidas: racionamento de água, redução na pressão da rede, proibição da irrigação de jardins, campanhas educativas para uso consciente da água, novos modelos experimentais de manejo de irrigação para agricultores e investimentos na gestão integrada dos recursos hídricos.

Com o objetivo de recuperar o nível do reservatório da Barragem do Descoberto, as medidas de contingência do consumo de água que foram adotadas pela Caesb, consistiram em:

- 24/10/2016: Estabelece a Tarifa de Contingência para os serviços públicos de abastecimento de água do Distrito Federal, prestados pela Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal – CAESB e Adasa, em virtude de situação crítica de escassez hídrica e dá outras providências (Caesb, 2016).

- 23/11/2016: Primeira etapa de redução de pressão nas cidades abastecidas pelo Sistema Descoberto.

- 16/01/2017: Início do rodízio no abastecimento de água nas cidades abastecidas pelo reservatório Descoberto.

- 30/01/2017: Segunda etapa de redução de pressão nas cidades abastecidas pelo Sistema Santa Maria.

- 27/02/2017: Início do rodízio no abastecimento de água nas cidades abastecidas pelo Santa Maria.

- 01/06/2017: A cobrança relativa a Tarifa de Contingência foi suspensa. (Caesb, 2016).

Juntamente com a redução de pressão da rede do sistema do Descoberto foram também realizadas melhorias na rede, como reparos e substituições de redes antigas, com intuito de minimizar as perdas. Ademais, foi autorizada a cobrança da tarifa de contingência sobre consumo de água que atingisse mais de 10 metros cúbicos mensais Governo de Brasília (2017).

O plano de enfrentamento da crise apresenta uma simulação do comportamento do reservatório, considerando dois possíveis cenários climáticos. É importante salientar que a época em que foi realizada essa simulação se deu no início de janeiro de 2017, ou seja, no mesmo período em que foram estipuladas as medidas adotadas. O cenário 1 (Figura 3-20) foi baseado na pluviometria do ano de 1996, ano seco, considerou as mínimas vazões registradas na série histórica de vazões de 1986 a 2016, e para a evaporação foram utilizadas as médias mensais da série de evaporação da estação climatológica da Caesb.

E para as saídas, foram analisadas duas hipóteses de captação:

- 1.1 Considera que o crescimento da demanda é de 1,7% ao ano, redução do consumo de 12,1% devido ao racionamento e a partir de julho de 2017 essa redução sobe para 30%.
- 1.2 Considera que o crescimento da demanda é de 1,7% ao ano, redução de 12,1% do consumo devido ao racionamento e 30% a partir de julho de 2017 e diminuição de demanda de 700 l/s que será suprida com a entrada do sistema emergencial do Lago Paranoá que foi prevista para setembro de 2017;

Na Figura 3.15 são apresentados os resultados dos cenários 1.1 e 1.2. Para o cenário 1.1 a simulação mostrou que o reservatório não iria ter condições de continuar operando. Entretanto com o cenário 1.2 a entrada do sistema emergencial do Paranoá em setembro de 2017 iria aliviar o sistema do Descoberto, sendo assim possível a continuação do fornecimento de água.

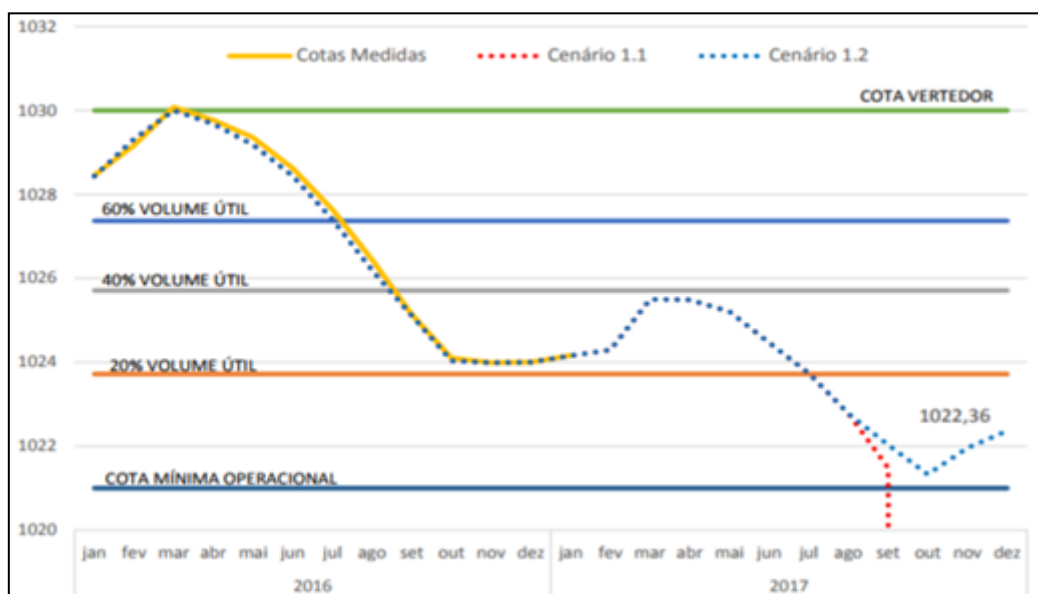


Figura 3-20: Comportamento do Reservatório - Cenário 1 (Fonte: Plano Integrado de Enfrentamento à crise, 2017).

O cenário 2 foi construído considerando as médias ou próximas à média no final deste período chuvoso e também a partir de novembro e vazões mínimas no período de maio a outubro. Todas as vazões foram consideradas a partir da série histórica de vazões de 1986 a 2016. A pluviometria foi baseada na média do período de fevereiro a abril e de novembro a dezembro e 50% da média de maio a outubro e para a evaporação foram utilizadas as

médias mensais da série de evaporação da estação climatológica da Caesb. No que diz respeito às saídas foram consideradas as hipóteses de captação do cenário 1, contudo considerando o racionamento linear de 12,1% em todo o ano de 2017.

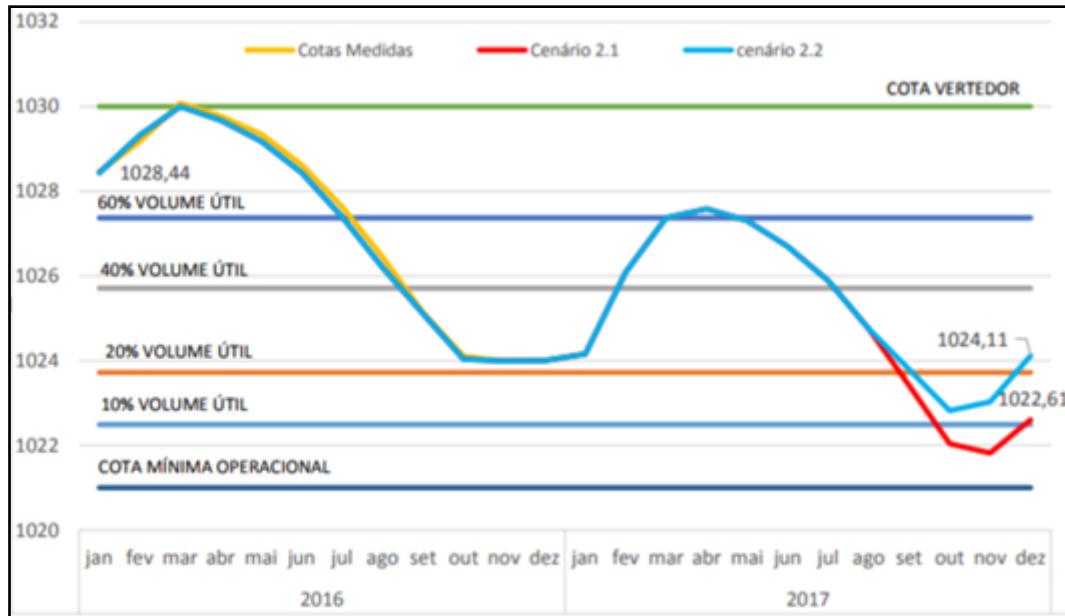


Figura 3-21: Comportamento do reservatório - Cenário 2 (Racionamento de 12,1% em todo ano de 2017) (Fonte: Plano Integrado de Enfrentamento à crise, 2017).

Observa-se da Figura 3-21, que embora considerando precipitações médias entre fevereiro a abril, o reservatório não se aproxima da sua capacidade de armazenamento, portanto é preciso continuar com medidas de restrição de uso e adotar medidas estruturais para que o Sistema do Descoberto seja aliviado, com a entrada de novos sistemas.

A Adasa disponibilizou o acompanhamento dos níveis do reservatório, segundo a Figura 3-22 se percebe que a cota do reservatório do Descoberto está consonante com o que era esperado, atingindo cotas abaixo de 20% do volume útil, mesmo com todas as medidas proposta no Plano de Enfrentamento à crise. Portanto, tiveram de serem estabelecidas medidas emergências.

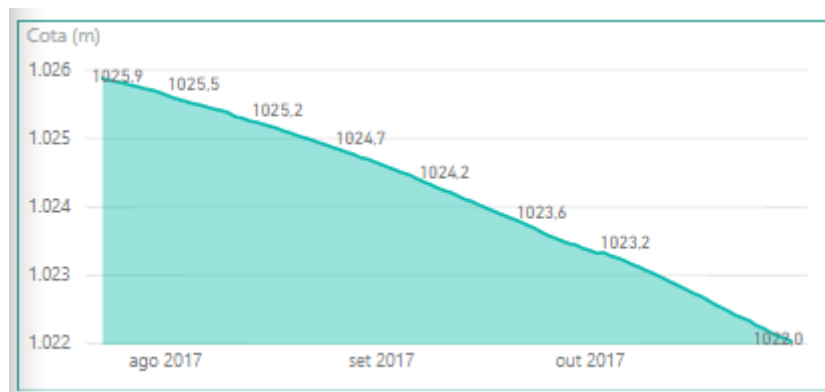


Figura 3-22: Cota(m) do reservatório do Descoberto (2017) (Fonte: Adasa).

Segundo a CAESB (2017) as medidas emergenciais estão voltadas para o reforço e integração dos sistemas de abastecimento de água. Esses investimentos para enfrentamento da crise hídrica são:

- Reativação das captações pequenas do gama → Resultando no incremento estimado de 310 L/s.
- Implantação de poço profundo em São Sebastião → Resultando em uma vazão estimada de 11 L/s.
- Adequação das bombas da captação Cabeça de Veado → Resultando no incremento estimado de 30 L/s.
- Implantação do Subsistema do Bananal → Ampliar a capacidade de produção entre 600 L/s e 750 L/s
- Interligação do sistema Santa Maria/Torto ao Descoberto → Permitindo a transferência entre sistemas de até 700 L/s.

Esses investimentos, estudos de cenários e a integração dos sistemas de abastecimentos permitem avaliar e implantar um planejamento estratégico de forma eficaz para que assegure a segurança hídrica no Distrito Federal.

### **3.4 SISTEMA DE APOIO À DECISÃO PARA GESTÃO E PLANEJAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS**

Para se realizar com eficiência a gestão de recursos hídricos, deve-se considerar o complexo processo, que envolve diversos participantes com conhecimentos, prioridades e interesses distintos. Desse modo é importante ter uma visão integrada da gestão, capaz de relacionar a questão econômica, social, tecnológica e política, de forma a não comprometer a reserva de água para consumo (Da Silva, 2015). À vista disso, programas que auxiliam no apoio à tomada de decisão são cada vez mais empregados com objetivo de aperfeiçoar as soluções escolhidas.

McKinney (2004) define que os Sistemas de Suporte a Decisões (SSD) são sistemas digitais multidisciplinares que apresentam uma fácil interface de assimilação pelo usuário, capazes de gerenciar informações e resolver problemas complexos não estruturados de recursos hídricos. A meta dos SSD é conseguir obter um conjunto de opções a serem consideradas e analisadas a fim de conseguir o resultado mais otimizado dentre as alternativas.

### **3.4.1 Aquatool**

Aquatool é um modelo de suporte de decisão, o programa foi desenvolvido pelo Instituto de Engenharia da Água e Meio Ambiente da Universidade de Valência e tem como objetivo a simulação da gestão de recursos hídricos, assim como a otimização dessa gestão e a simulação da qualidade da água. No programa é possível fazer um esquema da configuração do sistema de recursos hídricos e introduzir dados, como por exemplo, características de infraestrutura e critérios operacionais. A simulação matemática no contexto de gestão dos recursos hídricos possibilita avaliar o desempenho de políticas de operação e identificar aquelas que melhor asseguram o cumprimento dos objetivos do sistema.

O artigo de Salla *et al* (2013) utilizou o Aquatool como sistema de suporte à decisão na bacia hidrográfica do Rio Uberabinha, para o planejamento e gerenciamento. Os autores integraram ao modelo Aquatool o modelo SIMGES capaz de realizar modelagem quantitativa e o GESCAL para simular a qualidade da água. Propuseram cenários dentro da realidade do local e considerações pré-estabelecidas. De forma geral, os autores concluíram que a ferramenta é capaz de ser um SSD em recursos hídricos e apresentou resultados significativos dentro do contexto da bacia hidrográfica.

### **3.4.2 Mike Hidro Basin**

Mike Hidro Basin foi desenvolvido para apoiar decisões de gestão e planejamento de recursos hídricos pelo *Danish Hydraulics Institute* (DHI), o modelo é integrado ao SIG. Esse programa permite avaliar a capacidade de resposta das infraestruturas do sistema às necessidades de água, classifica a qualidade de água nos cursos de água, além de prever riscos de cheias e análise financeira do sistema.

O DHI utilizou a modalidade Mike Info como base para desenvolver um sistema de informação a respeito do Lago Victoria, no qual vários países da África Oriental dependem para geração de energia, consumo e irrigação, dentre outros usos. O objetivo foi que com

essa base de dados todos os interessados acessassem e compartilhassem e avaliassem os dados da bacia.

### **3.4.3 IRAS 2010 – Interactive River and Aquifer Simulation**

IRAS 2010 foi desenvolvido pela Universidade Cornell com objetivo de avaliar a capacidade de satisfação das necessidades de água e estimar a qualidade da água. Os dados de entrada são: o regime hidrológico, taxas de evaporação e demandas de consumo, dentre outros.

Simões e Oliveira (2000) utilizaram o programa IRAS 2010 para estimar os valores de volume armazenados nas albufeiras de determinada região de Portugal para o aproveitamento hidroagrícola do vale do Sorraia. Pode-se verificar que os resultados são próximos à realidade. Os autores concluíram que a forma que o IRAS-2010 define as políticas de operação do sistema, que é baseada em regras que determinam a quantidade de água atribuída a cada uso em função da disponibilidade, permitem ao utilizador maior controle sobre a operação do sistema. Para esse estudo o autor destacou também a capacidade do modelo de simular o consumo e produção de energia.

### **3.4.4 Acquanet**

O Acquanet foi desenvolvido pelo Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões da Universidade de São Paulo, com base no modelo MODSIM. É um modelo integrado usado para análise de sistemas complexos em recursos hídricos e utiliza uma interface SIG. Consegue fazer a integração da alocação de água, qualidade de água e irrigação. O programa também dispõe de ferramentas de análises capazes de solucionar problemas relacionados à alocação de água em bacias de forma a auxiliar na gestão e na tomada de decisão.

Santana (2016) utilizou o Acquanet para representar o sistema de abastecimento de águas no Distrito Federal e Entorno. Foi desenvolvida no estudo uma malha de referência para avaliar as possíveis alternativas de abastecimento para a região estudada, foram também construídos cenários alterando o aumento populacional e variação climática, com o objetivo de avaliar o comportamento do sistema de abastecimento face a esses cenários. Os resultados apresentados no estudo permitiram concluir que a rede de fluxos empregada no Acquanet se mostrou bastante representativa e eficaz para atender às demandas de abastecimento.



### 3.4.5 WEAP – Water Evaluation And Planning

O WEAP (“Water Evaluation And Planning” system) foi desenvolvido pelo Stockholm Environment Institute’s U.S Center, para auxiliar na tomada de decisão da avaliação e planejamento hídrico de forma integrada (SEI, 2001). Essencialmente, o modelo viabiliza o desenvolvimento de uma rede hídrica que simula a demanda de água em uma região delimitada pelo analista, considerando as prioridades e preferências de abastecimento, podendo também avaliar as utilidades relativas aos recursos hídricos (Da Silva, 2015).

O WEAP opera com conceito básico do balanço hídrico, o programa pode ser aplicado em sistemas urbanos e agrícolas, sistemas individuais ou complexos. Também é capaz de auxiliar em uma pluralidade de questões, como por exemplo, análises de demanda, crescimento populacional, armazenagem estratégica de água, exploração de águas subterrâneas e outras fontes de água, alterações climáticas, geração de energia, evolução da população abastecida, avaliação de vulnerabilidade e análises de custo-benefício (SEI, 2012).

O WEAP foi desenvolvido com base em uma abordagem integrada, processo de atores que conta com uma estrutura transparente e dinâmica que favorece o engajamento de diferentes tomadores de decisão; balanço hídrico cujo modelo tem uma base de dados que mantém informações sobre a quantidade de oferta e demanda de água que permite gerar modelos de balanço em diagramas de sistemas hídricos; simulação baseada no cálculo de aspectos relativos ao uso da água, como oferta, demanda, fluxo, infiltração, demanda agrícola, armazenagem, poluição, tratamento, e qualidade sob diferentes cenários hidrológicos e políticos. Avalia também um amplo leque de desenvolvimento e gerenciamento dos recursos hídricos e leva em consideração os múltiplos e competitivos usos da água. O WEAP usa uma interface gráfica baseada em SIG, trabalhando com construção, modificação e visualização das configurações. Os resultados são disponibilizados em formato de mapas, figuras e tabelas. Além disso, o modelo permite também a integração com vários outros modelos, tais como o QUAL2K, MODFLOW, MODPATH, PEST, EXCEL e GAMS. (SEI, 2012).

De acordo com Levite *et al.* (2002) o modelo representa o sistema de forma esquemática de várias formas de abastecimento, como por exemplo, rios, águas subterrâneas e reservatórios, retiradas, demandas de água de aquíferos e exigências de ecossistema.

São apresentados pelo o SEI (2012) as seguintes diretrizes para a utilização do WEAP:

- Definir o plano de estudo com base no limite de espaço e tempo, sistema de recursos hídricos, os componentes do sistema e a configuração do problema;
- Estabelecer o contexto atual, apresentando o enquadramento instantâneo da demanda de água, recursos e situação da carga de poluição e fontes para o sistema, validando a calibração do modelo;
- Construir cenários, analisando alternativas sobre tendências futuras, econômicas, políticas e social que afetam diretamente a demanda dos recursos hídricos;
- Avaliar os cenários com base nos critérios de adequação dos recursos hídricos, custos, benefício, impactos ambientais e sensibilidade a incertezas de variáveis predominantes.

O fluxograma do modelo é apresentado na Figura 3-23:



Figura 3-23: Fluxograma do modelo WEAP (Fonte: Adaptado Fonseca, 2008).

Quanto à formulação matemática, são quatro os métodos para simular os processos

de evaporação, escoamento, infiltração e irrigação, são eles: *Irrigation Demands Only Method* (FAO crop requirements), *Rainfall Runoff Method*, *Soil Moisture Method* e o *MABIA method*.

A componente hidrologia do modelo WEAP (Soil Moisture Method), considera diferentes tipos de solo, esse método permite a caracterização do uso do solo e os impactos que cada tipo de solo tem com os processos hidrológicos. O modelo usa funções empíricas (Equação 3.1) capazes de descrever a evapotranspiração, o escoamento superficial e o escoamento subsuperficial (Yates *et al.*, 2005).

$$Sw_j \frac{dz_{1,j}}{dt} = Pe(t) - PET(t)k_{c,j}(t) \left( \frac{5z_{1,j} - 2z_{1,j}^2}{3} \right) - Pe(t)z_{1,j}^{\frac{LAI_j}{2}} - f_j k_j z_{1,j}^2 - (1f_i)k_j z_{1,j}^2$$

Equação 3-1 Equação Soil Moisture Method (Fonte: Yates *et al.*, 2005).

A capacidade de armazenamento de água no solo é estimada pelo  $Sw_j$  e  $Dw$ , prescrito para cada fração  $j$  da cobertura da terra. A precipitação efetiva ( $Pe$ ) é função da precipitação ( $P$ ) sobre a fração de solo. O coeficiente relacionado com a evapotranspiração potencial de referência da cultura é o PET, o  $K_{c,j}$  é o coeficiente da cultura para cada cobertura do solo.  $LAI_j$  significa o índice de área foliar, esse parâmetro influencia no escoamento superficial. O escoamento de base tem como parâmetros  $K1_j$  e  $K2$  que são estimativas de condutividade hidráulica da camada superior e inferior do solo.

As duas camadas funcionam como dois reservatórios (Figura 3-24), quando acontece a precipitação é possível calcular a vazão relativa a essa chuva. Contudo é indispensável a análise de sensibilidade dos parâmetros para a calibração do modelo.

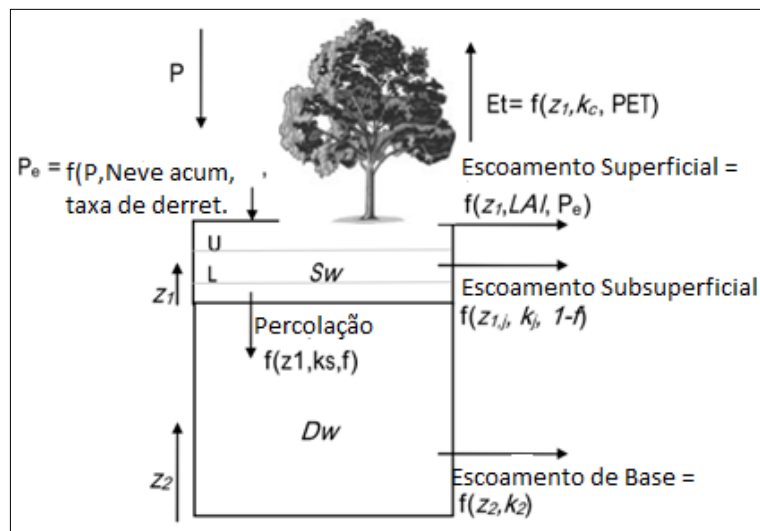


Figura 3-24- Esquema do modelo hidrológico do WEAP (Fonte: SEI, 2001).

Em relação a modelagem de um sistema de água é importante entender como esse sistema opera sob condições hidrológicas. As variações naturais podem ter efeitos importantes nos resultados dos cenários. O WEAP tem quatro métodos para projetar a hidrologia de águas superficiais durante o período do estudo: *Water Year Method*, *Expressions*, *Catchments Runoff and Infiltration* and *Read From File Method*. O método utilizado no presente trabalho será o *Water Year Method*, esse método é usado para projetar o influxo em cada ponto de entrada de um reservatório, por exemplos as vazões de rios afluentes de reservatórios. A partir de um tipo de ano (o ano de referência) são caracterizadas as condições hidrológicas dos demais anos de interesse. Os cinco tipos de condições que o WEAP usa: Normal, Muito Molhado, Molhado, Seco e Muito Seco. Essas categorias têm como base as quantidades relativas de entrada de água de superfície.

Uma vez definida a categoria para cada tipo de ano (*Water Year Definition*), é necessário especificar a sequência de tipos de ano (Muito Seco, Seco, Normal, Molhado, Muito Molhado). A sequência definida de tipos de ano definirá valores de entrada para anos futuros aplicando os coeficientes de flutuação apropriados aos influxos. Ao usar o *Water Year Method*, a atribuição de tipos de ano pode ser baseada em uma variedade de considerações, dentre elas observando os padrões hidrológicos passados.

De acordo com Fonseca (2008) o modelo WEAP faz a simulação considerando uma evolução do sistema hidrológico. O modelo demanda todo o ciclo evolutivo da água, como a precipitação sobre a bacia de contribuição, as vazões afluentes do reservatório, o volume do reservatório, as retiradas para locais de demandas e os retornos das águas para os rios.

Dentro desse contexto, no Brasil existem uma série de estudos que utilizaram o modelo WEAP como suporte para decisão e análise de cenários futuros. Da Silva (2015) propôs a integração do modelo de qualidade da água QUAL2K com o WEAP, criando cenários relacionados ao crescimento populacional e possíveis alterações no sistema de tratamento de esgoto em áreas de adensamento urbano no DF. Neste estudo, foram simulados 4 cenários futuros, simulados de 2010 a 2030. Os cenários indicaram que haveria uma diminuição da concentração de OD e aumentaria a DBO no rio Descoberto, o que era o esperado. Esse resultado salienta que é necessário aumentar o nível de remoção de DBO do tratamento terciário das ETE's.

Fonseca (2008) realizou um estudo de caso, utilizando em sua metodologia o modelo WEAP, que avaliou os efeitos do turismo na demanda d'água na bacia do rio Gramame–PB.

Foram analisados três cenários com base na expansão do turismo em uma única série de vinte anos, nos quais houve variação da previsão hidrológica de muito seco a muito chuvoso. Também verificou o volume dos reservatórios, considerando o diagnóstico das condições atuais, e o prognóstico, com previsão de cenários hidrológicos, aumento da oferta hídrica e crescimento do fluxo turístico. Para a avaliação do sistema foram determinados indicadores de desempenho, como confiabilidade, vulnerabilidade, resiliência e índice de sustentabilidade total. Os resultados obtidos mostraram que o reservatório Gramame-Mamuaba está no limite do aproveitamento hídrico total nos cenários propostos. Em suma, a pesquisa forneceu subsídios para o planejamento e avaliação dos impactos causados pelo crescimento do turismo local.

Em razão da escassez de água na bacia do rio Seybouse – Argélia, devido ao rápido crescimento populacional, expansão dos setores agrícola e industrial e aos impactos da variabilidade climática houve a necessidade de investir em novas fontes de captação de água e gerenciar os recursos hídricos de maneira integrada. O estudo de Berredjem e Hani (2017) teve como objetivo o gerenciamento de recursos hídricos na bacia Seybouse, caracterizada por um aumento constante da demanda de água para atender diferentes usos. A pesquisa levou em consideração as mudanças na demanda de água no abastecimento urbano, agrícola e industrial. O WEAP foi usado para simular o cenário atual visando avaliar cenários futuros em relação ao desenvolvimento socioeconômico e as mudanças climáticas até 2050. Os resultados obtidos mostraram a vulnerabilidade da região em sua capacidade de atender a todas as demandas do sistema.

## **4 METODOLOGIA**

Nesta seção, será apresentada a proposta metodológica para análise da efetividade das medidas de enfrentamento da crise hídrica aplicadas para recuperação do volume do reservatório do Descoberto – DF e do Santa Maria. Para tanto, será feita a modelagem no WEAP considerando diferentes cenários hidrológicos.

A pesquisa foi dividida em duas etapas distintas: diagnóstico e prognóstico. O diagnóstico do volume do reservatório com as medidas de contenção de uso aplicadas ao reservatório foi apresentado nos capítulos anteriores. Na fase de prognóstico realizada neste trabalho, os cenários foram construídos baseando-se em diferentes medidas de gerenciamento de uso da água e em distintos anos hidrológicos.

Para a realização do prognóstico se fez necessário a etapa da caracterização dos sistemas de abastecimentos estudados. Também será apresentada a análise de consumo de água de cada sistema de abastecimento, considerando o período anterior e posterior à aplicação das medidas de racionamento, a fim de se obter a taxa de redução do consumo após a aplicação das medidas de racionamento. Por último foi realizada a modelagem no programa WEAP, tendo em vista os diversos cenários hidrológicos.

### **4.1 CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO**

A etapa de caracterização dos sistemas estudados é primordial para a modelagem, já que possibilita representar o sistema de modo coerente com a realidade. De maneira sucinta, serão apresentadas as características naturais das bacias em que se encontram os reservatórios estudados, ou seja, relevo, solo, vegetação e clima.

Os dados necessários são: a localização da bacia que comporta o reservatório, os pontos e tipos de demanda de água na bacia – o consumo mensal do abastecimento de cada RA em volume e o volume retirado para irrigação -, as perdas no sistema de abastecimento, a taxa de crescimento populacional, a localização e identificação das estações de monitoramento dos afluentes do reservatório, assim como o levantamento de dados da vazão afluente, da precipitação e da evaporação no espelho do reservatório, além também das características físicas e operacionais do reservatório.

O levantamento de dados do consumo mensal de cada RA foi obtido na plataforma digital do Sistema de Informações Geográficas da Adasa, tendo como fonte primária os dados da CAESB. Esses dados são relativos à medição de hidrômetros, ou seja, não sendo consideradas as perdas no sistema, logo, durante a modelagem, deve-se atentar a inserir os dados de perdas no sistema, esses dados foram obtidos junto ao Sistema Nacional de

Informações sobre Saneamento (SNIS).

No que tange as informações sobre operação e gerenciamento do sistema frente às medidas adotadas para atenuação da crise hídrica foram obtidas por meio do contato direto com a Superintendência de Produção de Água da Caesb e por meio do Plano Integrado de Enfrentamento à Crise Hídrica do Distrito Federal.

As vazões dos principais afluentes de cada reservatório foram adquiridas no Atlas Caesb que dispõe de dados das diversas estações fluviométricas monitoradas pela companhia.

Os dados relativos às características físicas e operacionais do reservatório, como os dados de demanda para irrigação, de precipitação e de evaporação no espelho do reservatório foram extraídas da Nota Técnica nº58/2016-SRH/ADASA e Nota Técnica nº 61/2016-SRH/ADASA, além de dados que foram obtidos em contato direto com colaboradores da ADASA e Caesb.

Para a construção do sistema no modelo WEAP, tais como limites do DF, delimitação das bacias hidrográficas e desenho da hidrografia dos rios e lagos, foram obtidos no Geoportal da SEGETH (Secretaria de Estado de Gestão do Território e Habitação). O plano de informação referente à malha urbana foi extraído do IBGE.

As taxas de crescimento populacional de cada região administrativas utilizadas no modelo foram originadas da Pesquisa Distrital por Amostra de Domicílios realizada pela Codeplan.

#### **4.1.1 Bacia do reservatório Descoberto**

O reservatório Descoberto se localiza na bacia do rio Descoberto (Figura 4-1), está compreendida na bacia do rio Paraná que fica localizada na divisa oeste entre DF e o estado de Goiás (Da Silva, 2015) e possui área de drenagem de 437 km<sup>2</sup> (Rocha e Cézar, 2015). Essa bacia é de grande importância para os habitantes do DF, visto que é responsável por abastecer várias Regiões administrativas.

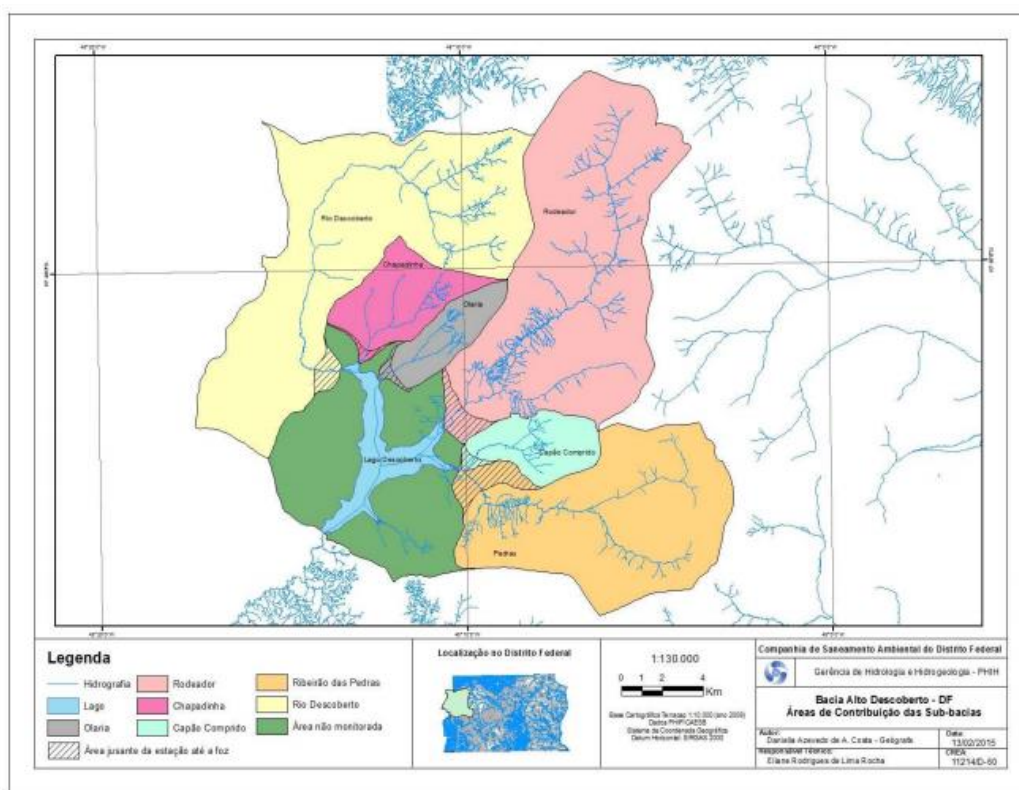


Figura 4-1 - Bacia do Rio Descoberto (Fonte: Rocha e Cézar, 2015).

Dentre as características da bacia, as cotas altimétricas variam entre 900 a 1300 metros. Na bacia são predominantes os solos Latossolo Vermelho-Escuro e Latossolo Vermelho-Amarelo que possuem um alto grau de intemperismo, lixiviação, além de possuírem alta permeabilidade à água (PGIRH, 2011). No que diz respeito à vegetação da Bacia do rio Descoberto é do tipo campo limpo de cerrado, cerrado, vegetação herbácea (ervas) de zonas úmidas, mata ciliar e reflorestamento.

Conforme o Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal de 2009, o clima no DF se enquadra entre os tipos “tropical de savana” e “temperado chuvoso de inverno seco”, sendo assim possui características de um clima semiúmido. Portanto, na Bacia do Descoberto o clima diferencia-se claramente em duas estações, sendo elas: uma época fria e seca que compreende os meses de maio a setembro e outra época chuvosa e quente, com duração de outubro a abril, cujo dezembro é mês considerado o mais chuvoso e a precipitação total anual média varia de 1.500 mm a 1.750 mm.

No que tange ao uso e ocupação do solo a Bacia do Descoberto possui características heterogêneas, nela estão presentes centros urbanos do Distrito Federal e da RIDE DF e Entorno, área de preservação ambiental, campo, agricultura, indústria e diluição de efluentes de esgoto sanitário. Portanto, a densidade de áreas urbanas é bastante expressiva o que



influência no alto consumo hídrico fornecido pela bacia.

Para a realização da modelagem é importante identificar os principais afluentes do sistema, os afluentes que alimentam o reservatório são eles o rio Descoberto, o córrego Chapadinha, o córrego Olaria, o córrego Capão Comprido, o ribeirão Rodeador e o ribeirão das Pedras, tabela 4-1 (Atlas Caesb, 2017).

Tabela 4-1: Afluentes do reservatório Descoberto.

Estação Fluviométrica	Código
Chapadinha	60435100
Olaria	60435150
Rodeador	60435200
Capão Comprido	60435300
Ribeirão das Pedras	60435400
Descoberto – Chácara 89	60435500

As vazões dos afluentes foram consultadas no atlas da CAESB, plataforma digital que disponibiliza dados de fluviometria e pluviometria de estações de monitoramento.

Na figura 4-2 é apresentada a vazão dos afluentes ao reservatório Descoberto no ano de 2013, e dentre os afluentes do reservatório se destaca o Descoberto como o maior contribuinte em termos de vazão.

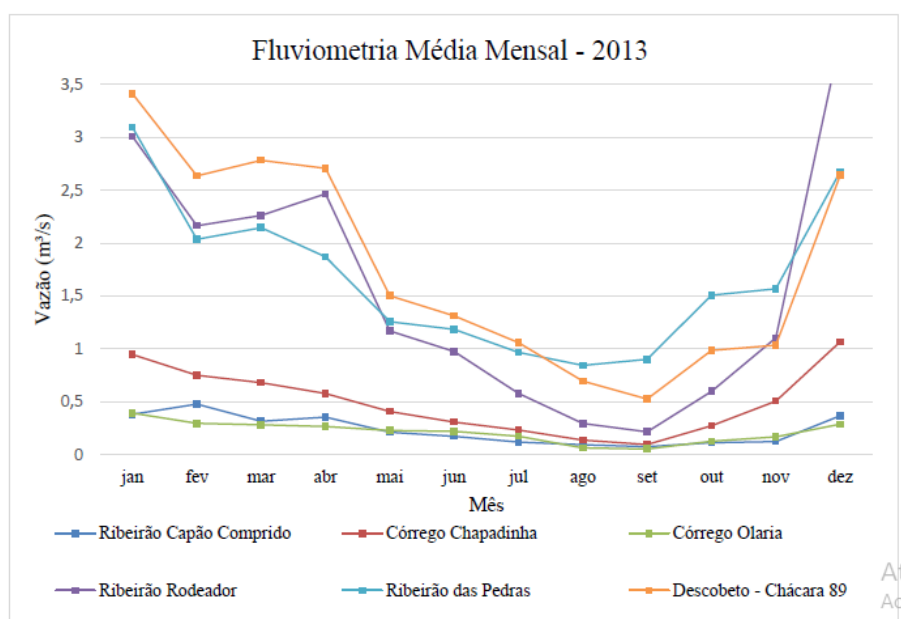


Figura 4-2: Fluviometria Média Mensal - 2013 (Fonte: Atlas Caesb, 2017).

Na Figura 4-3 é apresentada uma série anual de 1979 a 2016 da vazão média captada, vazão média do afluente e a pluviometria. É possível perceber o comportamento atípico do índice de precipitação, assim como o aumento da vazão captada do ano de 2016. Conforme a Caesb (2017) a vazão média captada cresceu 10% e a vazão média dos afluentes foi reduzida em 23% no período de 2010 a 2016.

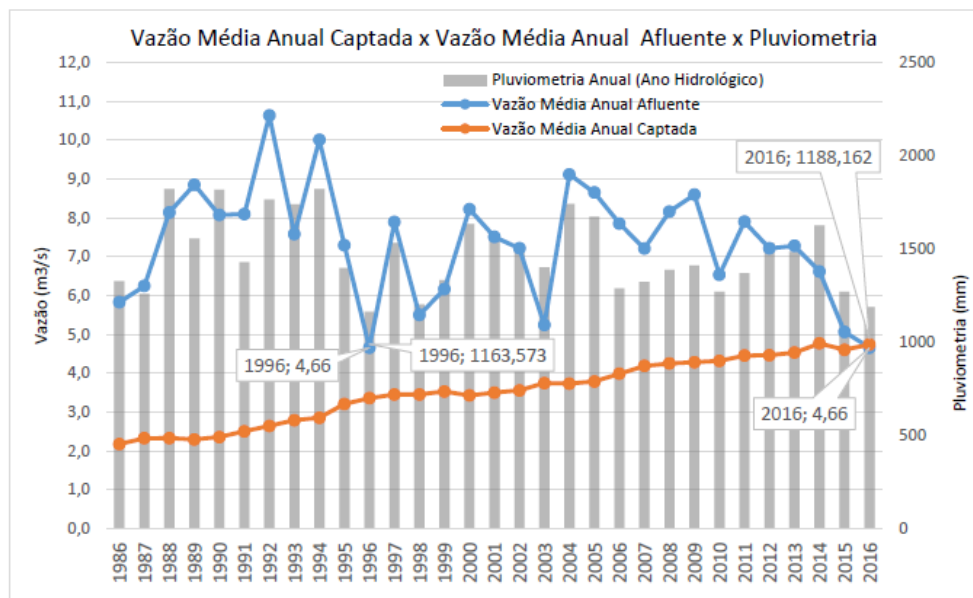


Figura 4-3: Pluviometria média, vazão afluentes e Captadas do reservatório Descoberto 1979-2016 (Fonte: CAESB)

#### 4.1.2 Sistema de abastecimento de água do rio Descoberto

O Sistema de Abastecimento de água estudado será o abastecido pelo reservatório do Descoberto. A principal finalidade da construção do reservatório foi o abastecimento público, esse lago apresenta área alagada de aproximadamente 12,55 km<sup>2</sup> e volume útil de aproximadamente 86,0 hm<sup>3</sup> na cota 1030m (Adasa, 2016). Portanto, atualmente esse sistema é o maior que existe para abastecer a população do Distrito Federal, com uma vazão outorgada de 6.000 L/s, vazão regularizada de 5.100 L/s (Rocha e Cézar, 2015) e vazão média anual dos afluentes de 4.660 L/s em 2016, sendo que a vazão captada em 2016 foi de 4.774 L/s (CAESB, 2017). Esse reservatório é responsável por 58,89% da água produzida no Distrito Federal e atende 61,52% da população (CAESB, 2014).

O sistema Descoberto recebe contribuição de barragens de nível, são elas: Crispim (vazão captada de 5,9 L/s), Catetinho (vazão captada de 30,5 L/s) (SIAGUA, 2014).

As Regiões Administrativas que são abastecidas pelo sistema Descoberto são as

seguintes: Águas Claras, Candangolândia, Ceilândia, Gama, Guará, Núcleo Bandeirante, Park Way, Recanto das Emas, Riacho Fundo I e II, Samambaia, Santa Maria, Taguatinga e Vicente Pires.

O consumo de água (m³) do sistema Descoberto, nos anos de 2013 a 2016, está apresentado nas tabelas 4-2 a tabela 4-5 (Adasa, 2018).

Tabela 4-2: Volume de água consumido em 2013 (m³) (Fonte: Jorge, 2017).

Volume de Água Consumido em 2013 (m³)												
RA/Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Águas Claras	783.348	799.103	818.852	819.971	888.966	862.014	786.297	870.382	942.286	980.785	818.905	828.214
Candangolândia	73.475	73.844	69.783	69.313	77.651	70.946	65.477	72.759	78.536	78.106	73.940	67.890
Ceilândia	1.601.187	1.555.287	1.500.003	1.494.944	1.634.413	1.580.553	1.465.276	1.585.851	1.703.159	1.732.436	1.569.495	1.529.713
Gama	576.589	559.615	542.362	532.673	583.801	560.800	511.165	561.044	619.452	628.564	546.118	540.822
Guará	711.055	721.059	699.697	704.989	769.869	740.553	687.041	756.907	807.540	831.934	757.622	691.345
Núcleo Bandeirante	126.081	126.340	124.428	127.699	135.227	131.387	117.997	127.958	134.686	143.701	123.928	127.895
Park Way	163.710	182.055	163.686	165.762	202.343	187.045	192.703	208.319	195.645	197.733	190.185	172.078
Recanto das Emas	438.541	423.955	419.838	415.885	437.731	420.058	390.528	420.265	452.177	478.912	419.079	410.062
Riacho Fundo I	172.130	171.847	164.255	164.309	180.681	171.193	155.064	174.929	185.136	189.465	173.314	164.459
Riacho Fundo II	140.514	140.356	130.345	128.640	144.404	135.935	127.076	141.602	148.067	158.202	133.027	132.688
Samambaia	816.668	802.839	779.125	776.251	852.329	804.562	762.849	824.826	884.923	907.922	812.808	797.267
Santa Maria	502.583	500.900	487.255	450.633	497.856	491.579	456.998	502.628	545.776	570.899	530.348	512.844
Taguatinga	1.134.841	1.129.074	1.083.933	1.079.883	1.201.944	1.149.968	1.042.948	1.146.525	1.227.329	1.270.210	1.092.044	1.100.968
Vicente Pires	308.236	310.645	303.597	294.913	353.934	332.171	317.742	362.728	392.424	374.228	330.253	301.079

Ativar o Windows

Tabela 4-3: Volume de água consumido em 2014 (m³) (Fonte: Jorge, 2017).

Volume de Água Consumido em 2014 (m³)												
RA/Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Águas Claras	801.721	890.168	892.888	811.412	892.373	838.469	926.642	913.298	906.278	950.339	964.689	831.708
Candangolândia	74.732	71.313	71.224	68.540	69.420	65.548	70.058	68.030	69.544	75.523	70.643	61.322
Ceilândia	1.590.411	1.723.304	1.561.969	1.416.563	1.521.741	1.448.733	1.531.323	1.531.985	1.548.870	1.659.245	1.623.277	1.429.160
Gama	569.002	564.286	573.371	518.487	563.137	532.132	558.396	556.443	565.110	605.455	608.002	511.774
Guará	765.053	748.650	739.795	687.951	718.887	687.365	753.459	738.197	756.211	793.415	760.738	687.302
Núcleo Bandeirante	127.348	128.313	128.060	113.821	123.614	114.445	118.566	118.358	118.029	121.922	125.783	111.790
Park Way	174.625	189.300	169.337	161.510	179.900	178.927	198.143	206.284	201.483	204.951	168.858	160.649
Recanto das Emas	434.586	443.787	431.578	394.276	414.678	398.292	427.125	426.089	431.241	458.843	449.572	390.591
Riacho Fundo I	172.054	172.823	173.919	158.136	169.144	155.180	173.165	165.127	173.378	179.797	186.530	153.052
Riacho Fundo II	144.454	139.882	142.114	132.316	138.929	132.446	143.450	138.356	158.653	162.411	155.454	133.428
Samambaia	840.212	853.660	849.855	782.339	831.174	790.832	846.225	835.231	853.335	902.054	886.385	765.658
Santa Maria	560.235	536.920	615.628	493.397	511.293	568.460	524.637	524.751	551.490	620.811	621.593	493.676
Taguatinga	1.106.066	1.148.364	1.131.970	1.018.766	1.121.166	1.032.339	1.110.289	1.087.446	1.128.585	1.184.999	1.157.440	1.009.795
Vicente Pires	327.648	350.952	314.800	289.967	325.253	317.563	355.274	381.919	364.122	384.361	339.943	297.005

Ativar o Windows

Tabela 4-4: Volume de água consumido em 2015 (m³) (Fonte: Jorge, 2017).

Volume de Água Consumido em 2015 (m³)												
RA/Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Águas Claras	856.460	915.424	810.119	843.978	848.845	886.463	870.636	844.588	973.055	946.760	968.703	879.101
Candangolândia	71.333	67.191	54.953	62.937	60.149	65.456	62.074	61.429	69.388	68.513	62.961	64.134
Ceilândia	1.567.020	1.503.071	1.291.880	1.391.084	1.401.034	1.496.483	1.467.532	1.431.219	1.586.948	1.591.165	1.561.005	1.476.797
Gama	578.108	561.462	461.787	497.359	499.836	510.640	518.557	516.471	574.311	588.382	557.236	519.487
Guará	763.209	726.366	624.743	690.687	687.539	709.219	710.767	694.700	775.196	771.290	757.961	713.227
Núcleo Bandeirante	117.256	114.252	112.640	106.911	109.285	110.078	107.509	103.138	116.653	114.142	115.908	107.533
Park Way	170.625	173.240	138.359	151.966	151.970	184.643	180.952	197.054	204.301	198.882	159.489	166.683
Recanto das Emas	445.744	438.624	352.765	398.040	386.272	400.859	404.997	406.036	437.109	443.035	428.585	412.188
Riacho Fundo I	173.811	163.512	149.905	150.316	153.995	159.845	163.820	152.038	171.912	173.793	177.794	163.027
Riacho Fundo II	155.087	146.392	120.707	133.979	135.536	150.250	144.396	141.614	165.336	167.972	158.904	158.081
Samambaia	872.657	844.477	699.963	753.356	760.266	796.988	793.320	779.182	861.506	866.557	840.783	802.631
Santa Maria	545.535	555.661	440.308	450.168	442.807	465.739	498.522	483.972	567.086	618.818	630.355	586.292
Taguatinga	1.089.125	1.095.133	937.483	986.804	998.318	1.079.180	1.047.454	1.015.824	1.146.117	1.127.511	1.110.767	1.059.222
Vicente Pires	329.967	331.269	268.696	282.698	285.177	329.590	333.859	339.689	381.071	368.582	334.921	323.842

Tabela 4-5: Volume de água consumido em 2016 (m³) (Fonte: Jorge, 2017).

Volume de Água Consumido em 2016 (m³)												
RA/Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Águas Claras	888.387	856.975	892.830	929.575	971.526	955.220	953.387	959.082	1.008.527	950.274	893.488	857.395
Candangolândia	65.839	63.010	63.163	65.611	64.400	65.217	64.231	63.352	69.160	65.445	59.744	59.920
Ceilândia	1.540.717	1.419.485	1.448.755	1.519.542	1.556.226	1.526.104	1.506.820	1.516.956	1.627.667	1.498.108	1.378.559	1.359.678
Gama	544.172	507.737	521.970	566.737	562.529	560.553	554.369	557.711	570.883	555.969	506.975	492.557
Guará	725.272	691.915	720.362	740.224	731.775	730.620	717.183	747.548	760.792	725.707	672.158	659.270
Núcleo Bandeirante	114.782	113.096	108.952	109.953	113.021	112.871	110.011	111.418	114.031	112.406	104.424	105.803
Park Way	150.389	163.115	164.794	186.639	173.238	185.174	202.117	204.205	216.665	180.344	153.215	166.185
Recanto das Emas	440.092	398.003	409.751	424.416	412.642	409.089	408.566	412.821	436.732	411.248	380.094	376.399
Riacho Fundo I	169.604	159.085	159.968	165.875	167.397	166.193	161.032	166.421	172.486	170.237	160.606	155.997
Riacho Fundo II	163.682	169.792	174.794	182.036	184.691	183.867	181.560	186.685	197.181	185.275	170.791	170.221
Samambaia	828.517	776.921	791.623	820.080	840.509	828.131	815.640	834.004	886.249	829.970	764.206	746.398
Santa Maria	546.965	528.049	515.587	641.977	559.221	538.041	509.707	518.685	561.963	557.906	526.392	527.402
Taguatinga	1.084.126	1.019.889	1.034.483	1.082.364	1.082.411	1.093.660	1.085.086	1.095.260	1.162.250	1.081.922	1.006.511	986.529
Vicente Pires	300.057	307.756	314.980	332.560	343.594	350.432	358.873	371.937	396.912	352.852	315.871	310.924

#### 4.1.3 Características Físicas do Reservatório Descoberto

A realização da modelagem no programa WEAP necessita de informações a respeito das características físicas do reservatório, logo, e essa etapa é de suma importância para se ter um resultado mais representativos. A tabela 4-6 apresenta algumas características do reservatório.

Tabela 4-6: Características Físicas do reservatório do rio Descoberto. (SIAGUA, 2014; ADASA, 2016).

<b>Características Físicas do Lago Descoberto</b>	
Área de Drenagem (km <sup>2</sup> )	437
Área inundada (km <sup>2</sup> )	14,8
Volume útil (hm <sup>3</sup> )	72,79
Volume morto (hm <sup>3</sup> )	13,7
Profundidade média (m)	6,9
Cota do vertedor (m)	1.030
Nível mínimo operacional (m)	1.021
Cota do eixo de tomada d'água inferior (m)	1.018
Cota do eixo de tomada d'água superior (m)	1.025
Cota de descarga de fundo (m)	1.008
Vazão remanescente (m <sup>3</sup> )	0,6

A tabela 4-7 apresenta a relação Cota x Área x Volume, já a tabela 4-8 apresenta a relação utilizada pela Adasa de volume útil e percentual:

Tabela 4-7: Curva área x volume x cota do reservatório (Adaptado Nota Técnica nº 58/2016-SRH/ADASA, 2016).

Cota (m)	Área (ha)	Volume (hm <sup>3</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	OBS
1013	10.19	0.11	1.100	Volume Morto
1014	22.02	0.27	270.000	
1015	46.64	0.64	640.000	
1016	102.28	1.33	1.330.000	
1017	159.18	2.6	2.600.000	
1018	219.52	4.47	4.470.000	
1019	273.68	6.95	6.950.000	
1020	336.40	9.97	9.970.000	
1021	412.94	13.7	13.700.000	
1022	492.21	18.24	18.240.000	Volume Útil
1023	584.10	23.62	23.620.000	
1024	670.80	29.91	29.910.000	
1025	740.33	36.98	36.980.000	
1026	825.34	44.78	44.780.000	
1027	917.11	53.51	53.510.000	
1028	1.023.49	63.19	63.190.000	
1029	1.141.23	74.01	74.010.000	
1030	1.255.34	85.99	85.990.000	
1031	1.374.60	99.13	99.130.000	
1032	1.478.10	113.41	113.410.000	

Tabela 4-8: Percentual do Volume Útil. (ADASA, 2016).

<b>Volume Útil (hm<sup>3</sup>)</b>	<b>Percentual</b>
0	0%
4,54	6%
9,92	14%
16,21	22%
23,28	32%
31,08	43%
39,81	55%
49,49	68%
60,31	83%
72,79	100%

São Características também relevantes para inserir no modelo as taxas de precipitação e evaporação na área do reservatório. A tabela 4-9 apresenta estas características.

Tabela 4-9: Taxas de precipitação e evaporação no reservatório Descoberto em 2013 (ADASA, 2016).

<b>Mês</b>	<b>Taxa de Precipitação (mm)</b>	<b>Evaporação Lago (mm)</b>	<b>Taxa de Evaporação Líquida (mm)</b>
Jan	389,94	68,99	-320,95
Fev	96,95	86,39	-10,56
Mar	290,4	80,49	-209,91
Abr	89,61	80,45	-9,16
Mai	34,65	82,34	47,69
Jun	18,64	57,08	38,44
Jul	0	81,9	81,9
Ago	20,76	114,14	93,38
Set	26,79	110,39	83,6
Out	163,81	117,38	-46,43
Nov	252,19	71,11	-181,08
Dez	326,6	78,05	-248,55

#### 4.1.4 Bacia do Reservatório Santa Maria

O reservatório de Santa Maria se localiza dentro do Parque Nacional de Brasília (Figura 4-4), essa unidade de conservação situa-se entre as cotas de 1.279 m e 1.200 m. A represa de Santa Maria é formada pelo barramento dos córregos Santa Maria, Milho Cozido e Vargem Grande. O reservatório ocupa uma área de 6,1 km<sup>2</sup> na bacia do córrego Santa Maria (IBAMA e FUNATURA, 1998).

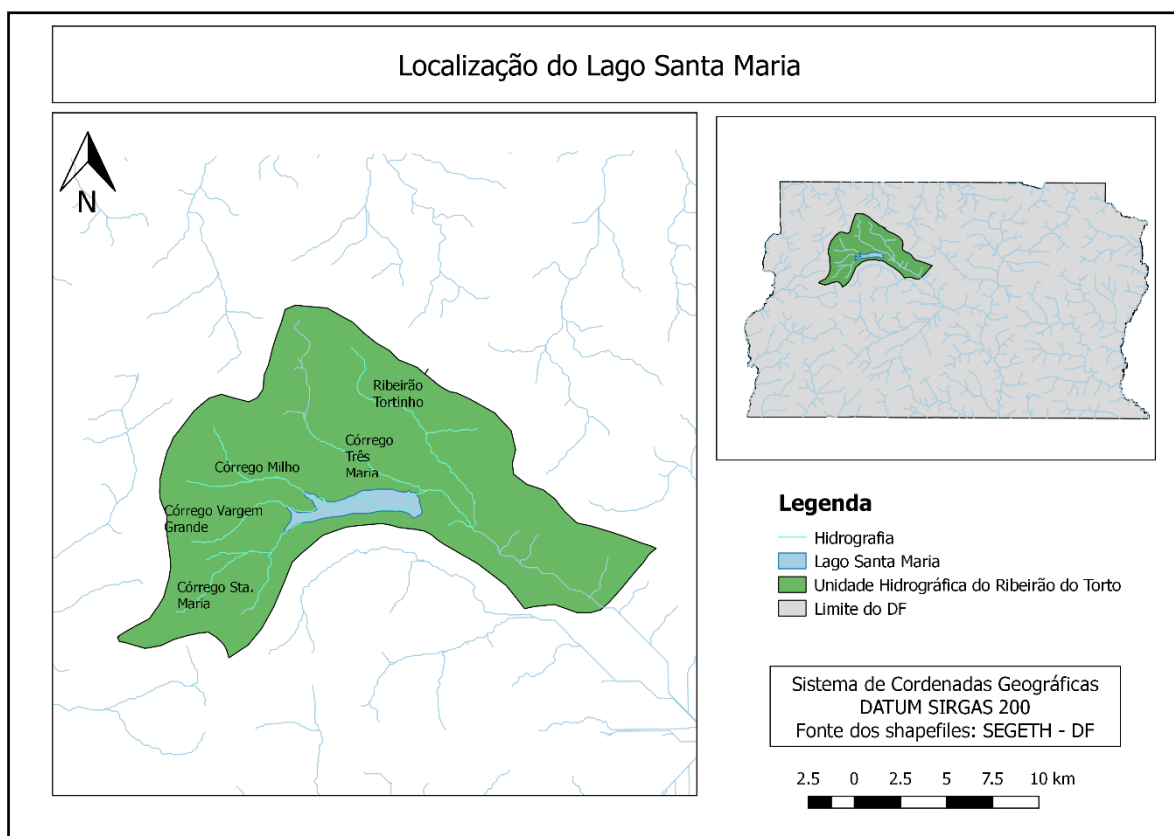


Figura 4-4: lago Santa Maria.

Da posição geográfica da bacia do córrego Santa Maria suas características são consoantes as do Parque Nacional de Brasília (PNB), que possui predomínio de solos da classe latossolos sendo eles o latossolo vermelho-escuro e o latossolo vermelho-amarelo. É importante ressaltar que essa classe de solo possui uma alta porosidade por consequência apresenta uma capacidade de retenção de umidade relativamente pequena. A vegetação dominante é cerrado e campo cerrado (IBAMA e FUNATURA, 1998).

O clima é temperado e úmido de altitude, com temperatura média do mês mais frio inferior a 18°C e a do mês mais quente variando em torno de 23°C. Em relação à precipitação média anual é da ordem de 1.600 mm, na qual tem sua concentração entre os meses de novembro a abril com médias mensais de até 300 mm e maio a outubro com médias mensais de 125 mm (Lima, 2004).

Pode-se observar na tabela 4-10 a evolução temporal da cobertura e uso do solo na bacia do reservatório Santa Maria. É notório que a houve um significativo aumento da área agrícola e diminuição do solo exposto. Vale ressaltar que o reservatório se encontra dentro do Parque Nacional de Brasília, portanto a tabela 4-10 é referente uso de solo do entorno do PNB.

Tabela 4-10: Evolução do uso e cobertura do solo na bacia do reservatório Santa Maria.  
(Fonte: Lima, 2004).

	1973	1984	1994	1998	2001
Tipo	Área (km <sup>2</sup> )				
Agrícola	0,046	2,101	14,584	18,264	17,623
Campo	64,177	85,206	70,290	59,413	59,401
Cerrado	124,245	99,28	103,071	109,85	110,552
Solo exposto	1,173	2,221	0,658	0,627	0,545
Mata	19,015	19,207	19,294	19,892	19,880
Reflorestamento	0,000	0,641	0,759	0,610	0,655

Para a realização da modelagem do sistema de abastecimento de Santa Maria é necessário o conhecimento da vazão dos afluentes do reservatório. Para o estudo foram consideradas as seguintes estações de monitoramento, tabela 4-11:

Tabela 4-11: Estações de monitoramento do reservatório Santa Maria.

Estações	Código
Milho Cozido	60477030
Vargem Grande	60477050
Santa Maria	60477070

Na figura 4-5 é apresentada a vazão dos afluentes ao reservatório Santa Maria no ano de 2013, e dentre os afluentes do reservatório se destaca Milho Cozido como o maior contribuinte em termos de vazão.



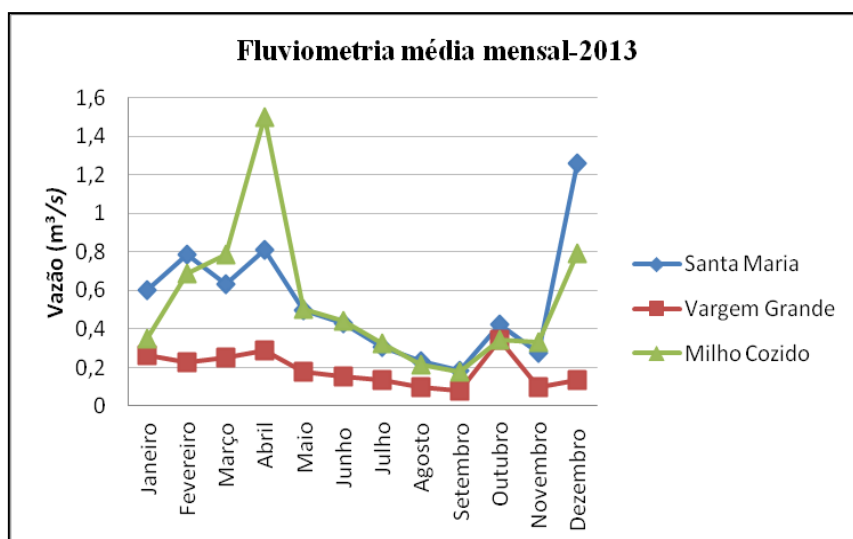


Figura 4-5: Dados Fluviométricos mensais médio (Fonte: Atlas Caesb, 2017).

Para realizar a modelagem é necessário compreender a dinâmica do reservatório. Deve-se dispor da série pluviométrica, assim como ter o conhecimento da série da vazão média dos afluentes e da vazão captada. A figura 4-6 mostra uma série anual de 1995 a 2016.

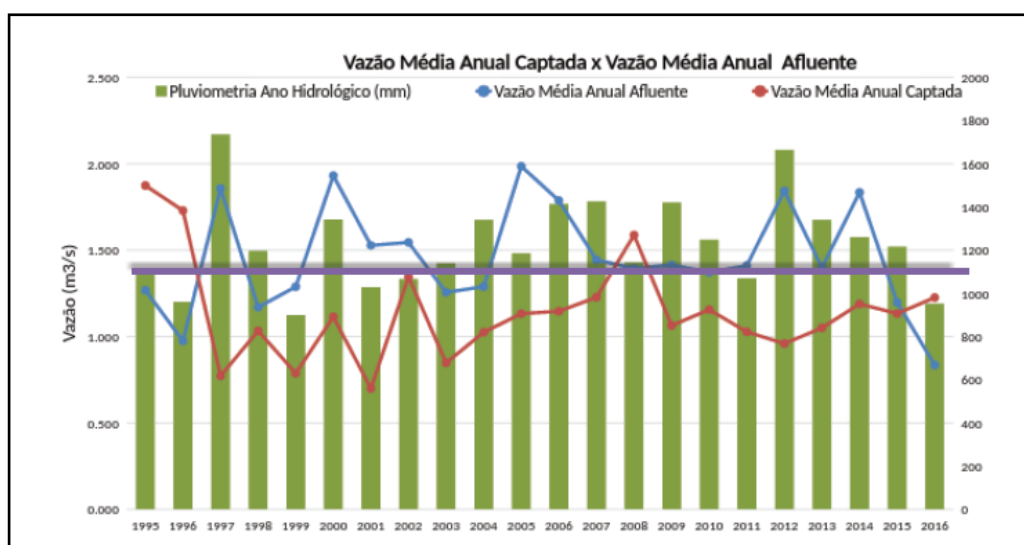


Figura 4-6: Pluviometria média, vazões médias anuais captadas e afluentes do reservatório Descoberto 1979-2016 (Fonte: CAESB, 2017).

#### 4.1.5 Sistema de abastecimento de água Santa maria

A bacia de captação do sistema de abastecimento público Santa Maria abrange uma área de 217,15 km<sup>2</sup>. O sistema integrado Santa Maria/Torto tem disponibilidade hídrica de 3.361 L/s (SIAGUA, 2014). A vazão média captada do reservatório Santa Maria em 2016 foi de 1.228 L/s e vazão média afluente de 835 L/s. Esse sistema é responsável pelo

abastecimento de água entorno de 20 % da população do Distrito Federal (CAESB, 2017). É importante ressaltar que o sistema integrado conta com a contribuição de outros subsistemas como a barragem de nível Cachoerinha volume captado de aproximadamente 29 L/s, barragem de nível Cabeça do Veado contribui com cerca de 110 L/s e barragem de nível Taquari que chega a contribuir em torno de 18,6 L/s. Além disso o sistema integrado recebe contribuição de captações subterrâneas com volume de 37 L/s (SIAGUA, 2014).

O sistema de abastecimento público Santa Maria/ Torto é responsável por abastecer as seguintes regiões administrativas: Lago Sul e Norte, SIA, Jardim Botânico, Cruzeiro, Plano Piloto, Sudoeste/Octagonal, SCIA/Estrutural, Paranoá, Varjão e Itapoã.

O consumo de água (m<sup>3</sup>) do sistema Santa Maria/Torto, nos anos de 2013 a 2017, está apresentado nas tabelas 4-12 a tabela 4-16. É importante ressaltar que o consumo de 2017 está baixo devido as medidas de racionamento aplicadas ao sistema.

Tabela 4-12: Volume de água consumido em 2013 (m<sup>3</sup>).

RA	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Cruzeiro	173.396	171.934	170.150	168.260	185.566	183.212	160.299	173.162	188.881	198.503	165.399	167.159
Itapoã	178.176	172.118	168.888	166.407	182.674	174.554	161.793	181.944	192.903	203.085	173.677	172.378
Jardim Botânico	138.302	135.279	128.533	125.501	149.874	149.208	145.506	175.039	196.288	166.007	141.237	118.418
Lago Norte	281.843	299.558	270.252	271.397	329.451	299.246	294.174	331.847	347.701	314.590	311.526	248.171
Lago sul	376.849	411.635	395.161	378.258	485.083	434.250	451.629	485.378	550.643	454.933	424.190	373.434
Paranoá	164.566	156.670	153.285	155.816	166.007	166.537	150.291	157.557	173.065	177.213	158.519	156.628
Plano Piloto	2.309.175	2.401.285	2.376.911	2.471.675	2.644.453	2.676.301	2.382.650	2.653.119	2.825.358	2.818.344	2.439.343	2.293.322
SCIA/ ESTRUTURAL	100.631	99.154	97.533	95.376	104.481	100.526	91.230	98.640	107.542	112.296	101.187	98.767
S.I.A	101.083	98.271	98.054	101.013	110.913	108.169	102.480	107.282	115.841	116.806	93.440	96.301
SUDOESTE	338.813	392.574	364.911	359.760	419.788	392.409	362.220	385.409	439.930	434.828	350.340	362.412
Varjão	28.982	28.908	27.772	27.207	30.723	29.575	25.425	30.183	29.590	33.749	27.117	29.091

Tabela 4-13: Volume de água consumido em 2014 (m³).

RA	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Cruzeiro	165.699	172.450	174.159	156.790	173.773	162.389	186.479	158.509	169.307	174.635	184.646	153.956
Itapoã	188.220	183.331	185.792	165.658	192.410	170.502	186.773	181.881	184.762	201.392	193.590	165.980
Jardim Botânico	136.883	141.797	137.309	120.418	139.212	145.923	168.872	172.340	174.490	175.271	147.860	112.180
Lago Norte	294.297	286.182	281.188	274.156	272.404	277.891	316.301	315.936	333.630	340.611	281.312	251.164
Lago sul	478.548	421.047	380.777	371.876	421.935	424.729	448.152	485.622	462.832	478.106	388.624	377.761
Paranoá	164.267	188.142	162.096	153.744	169.756	150.885	158.753	161.195	157.685	169.571	196.616	157.258
Plano Piloto	2.230.983	2.483.234	2.460.745	2.266.036	2.423.409	2.376.129	2.435.594	2.512.039	2.499.940	2.593.643	2.616.715	2.192.782
SCIA/ ESTRUTURAL	101.814	102.160	101.255	90.848	95.881	87.307	94.693	93.560	93.764	100.003	97.847	85.601
SIA	94.033	98.667	96.999	93.188	95.455	95.362	97.253	110.977	108.001	108.593	103.837	93.723
SUDOESTE	348.213	376.662	371.898	345.316	381.542	356.976	405.502	365.831	378.957	400.850	384.141	345.061
Varjão	32.119	29.577	30.867	27.692	30.964	26.987	29.156	28.019	30.906	29.122	31.325	23.704

Tabela 4-14: Volume de água consumido em 2015 (m³).

RA	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Cruzeiro	161.537	155.015	152.439	151.993	150.538	142.027	166.218	152.428	162.570	175.587	173.151	159.219
Itapoã	195.375	178.644	155.684	164.101	166.612	172.112	176.391	173.343	198.848	195.914	190.930	174.002
Jardim Botânico	137.242	144.436	107.122	112.818	118.893	133.279	146.019	152.906	176.086	168.606	147.017	128.218
Lago Norte	273.388	276.468	219.973	236.415	237.546	282.359	278.461	284.461	319.570	308.618	258.247	262.494
Lago sul	385.348	414.050	341.943	361.360	354.662	402.506	421.553	467.493	451.495	452.372	374.837	396.812
Paranoá	166.350	155.927	136.624	148.556	148.147	146.748	156.747	149.109	157.987	159.731	160.517	149.368
Plano Piloto	2.198.512	2.319.115	2.056.040	2.163.002	2.247.342	2.249.297	2.316.269	2.302.715	2.531.807	2.473.439	2.472.062	2.217.617
SCIA/ ESTRUTURAL	95.981	92.514	79.477	83.072	86.300	94.996	91.698	88.012	95.594	98.312	93.872	88.194
SIA	93.498	100.130	82.559	90.062	88.675	84.357	88.019	86.819	92.549	89.587	89.580	109.822
SUDOESTE	344.251	351.136	317.801	354.487	346.549	348.417	373.399	334.344	396.178	369.150	367.575	340.503
Varjão	29.608	30.891	22.388	25.017	26.109	28.808	25.871	25.051	30.406	28.952	29.894	27.193

Tabela 4-15: Volume de água consumido em 2016 (m³).

RA	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Cruzeiro	168.548	138.198	153.388	169.397	167.950	166.468	167.122	172.579	166.209	162.837	150.971	149.445
Itapoã	189.310	175.494	180.291	185.157	186.923	185.969	180.330	183.486	192.000	182.829	171.583	165.345
Jardim Botânico	135.897	120.681	132.275	145.416	156.725	168.246	173.388	177.976	179.076	165.080	136.794	124.475
Lago Norte	253.131	245.755	252.505	275.112	273.852	289.903	290.029	297.753	306.424	265.368	228.440	226.768
Lago sul	344.280	377.338	399.970	426.202	430.143	435.941	456.800	470.046	459.870	395.106	337.084	356.472
Paranoá	156.697	143.078	147.262	155.215	154.217	153.501	151.217	150.446	156.587	149.038	144.838	154.070
Plano Piloto	2.140.018	2.048.929	2.178.918	2.290.798	2.415.838	2.385.930	2.391.899	2.414.207	2.448.279	2.271.668	2.120.215	2.039.972
SCIA/ ESTRUTURAL	95.654	86.890	88.311	91.156	94.520	91.546	88.599	88.496	96.691	89.864	85.510	87.096
SIA	88.290	92.047	82.500	85.617	87.384	89.558	94.645	94.275	95.593	86.625	91.110	82.300
SUDOESTE	329.990	327.663	345.137	341.695	359.736	378.878	355.279	358.578	378.815	341.514	319.572	343.533
Varjão	27.455	27.776	25.326	26.639	28.556	26.268	25.567	26.915	27.435	27.054	26.861	24.437

Tabela 4-16: Volume de água consumido em 2017 (m³).

RA	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Cruzeiro	148.723	139.598	143.775	142.141	135.360	149.923	136.352	134.949	151.978	142.212	143.497	140.016
Itapoã	189.573	156.360	163.011	170.091	161.724	165.621	163.025	167.309	183.839	172.677	173.097	168.836
Jardim Botânico	143.156	118.214	123.465	135.901	132.516	142.740	142.507	163.386	183.997	167.593	147.389	126.139
Lago Norte	239.695	211.076	209.477	219.335	208.767	233.581	224.273	253.445	264.803	256.053	225.516	208.543
Lago sul	341.781	313.116	312.552	320.951	312.293	352.242	341.656	389.130	419.789	382.537	320.002	319.404
Paranoá	251.683	188.544	186.597	195.319	187.213	186.519	187.171	188.789	202.238	192.759	185.549	190.000
Plano Piloto	2.061.089	1.874.073	1.927.372	2.072.397	1.927.033	2.171.918	2.007.229	2.000.911	2.218.335	2.051.517	1.937.585	1.925.666
SCIA/ ESTRUTURAL	92.571	80.138	79.180	82.349	78.375	83.190	100.252	80.037	88.157	82.766	78.064	81.522
SAI	76.970	71.148	70.370	74.561	68.396	71.578	74.670	73.258	84.071	82.293	73.008	75.217
SUDOESTE	305.890	296.736	312.420	314.688	301.214	320.933	316.285	310.790	321.006	322.667	286.691	300.545
Varjão	28.439	24.021	24.535	25.223	23.059	24.900	23.198	24.002	25.840	25.879	25.566	24.314

#### 4.1.6 Características Físicas do Reservatório Santa Maria

A caracterização do reservatório é essencial para a modelagem do sistema, a Tabela 4-17 apresenta algumas das características relevantes do reservatório.

Tabela 4-17: Características Físicas do Lago Santa Maria.

<b>Características Físicas do Lago Santa Maria</b>	
Área de Drenagem (km <sup>2</sup> )	108
Volume útil (hm <sup>3</sup> )	61,308
Volume morto (hm <sup>3</sup> )	23,025
Cota do vertedor (m)	1.072
Nível mínimo operacional(m)	1.061

A curva Cota x Volume relaciona o volume do reservatório à cota do terreno e é apresentado na tabela 4-18. No entanto, a Tabela 4-19 correlaciona o volume útil e seu percentual. Os seguintes dados têm como origem a nota técnica nº 61/2016 – SRH/ADASA.

Tabela 4-18: Cota e Volume(hm<sup>3</sup>) (Fonte: Adaptado, ADASA, 2016).

Cota	Volume (hm <sup>3</sup> )	OBS
1046	0	Volume Morto
1047	0.043	
1048	0.246	
1049	0.623	
1050	1.184	
1051	1.901	
1052	2.836	
1053	4.018	
1054	5.430	
1055	7.068	
1056	8.975	
1057	11.144	
1058	13.598	
1059	16.400	
1060	19.545	
1.061	23.024	Volume Útil
1.062	26.84	
1.063	31.0	
1.064	35.47	
1.065	40.27	
1.066	45.42	
1.067	50.94	
1.068	56.83	
1.069	63.1	
1.070	69.76	
1.071	76.85	
1.072	84.33	

Tabela 4-19: Percentual de volume útil por cota (Fonte: ADASA, 2016).

Cota (m)	Volume %	Volume útil(hm <sup>3</sup> )
1061	0	0
1062.54	10	6.13
1063.9	20	12.26
1065.18	30	18.39
1066.4	40	24.52
1067.53	50	30.65
1068.59	60	36.78
1069.58	70	42.92
1070.5	80	49.05
1071.32	90	55.18
1072.08	100	61.31

A figura 4-7 apresenta o percentual de volume útil por cota.

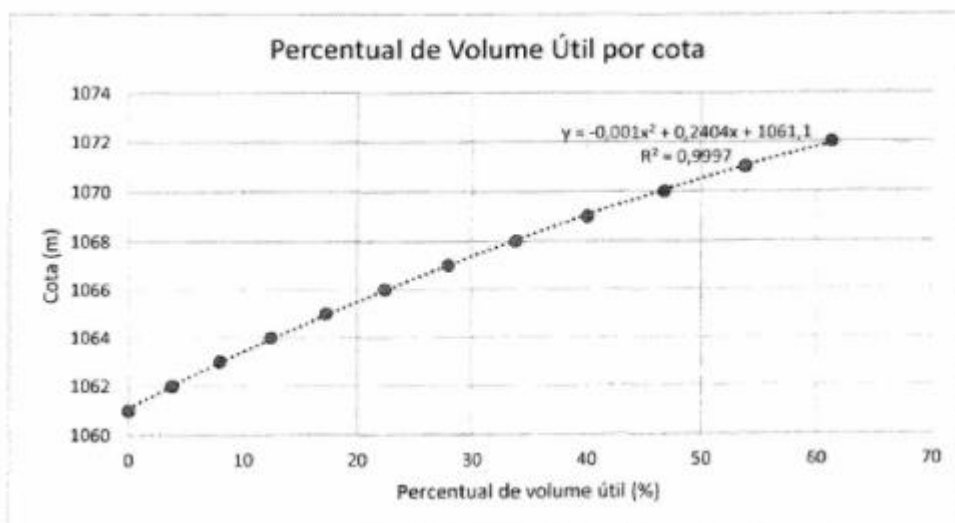


Figura 4-7: Percentual de Volume útil por cota (ADASA, 2016).

A tabela 4-20 mostra outras características importantes do reservatório, como a precipitação, evaporação e evaporação líquida do reservatório:

Tabela 4-20 : Taxas de precipitação e evaporação no reservatório Santa Maria em 2013 (ADASA, 2016).

Mês	Precipitação (mm)	Evaporação pontual (mm)	Evaporação Líquida (mm)
Janeiro	280.8	91.91	-188.89
Fevereiro	89.6	110.95	21.35
Março	133.4	97.30	-36.10
Abril	133.3	78.12	-55.18
Maio	28	94.64	66.64
Junho	21.1	74.06	52.96
Julho	0	98.74	98.74
Agosto	2.3	125.51	123.21
Setembro	53.9	126.50	72.60
Outubro	100.5	116.90	16.40
Novembro	226.5	105.14	-121.36
Dezembro	214.1	99.94	-114.16

## 4.2 ANÁLISE DO CONSUMO DE ÁGUA NO SISTEMA DESCOBERTO

Com o objetivo de compreender a variabilidade da demanda de cada RA e obter uma taxa de redução da demanda de água a partir da adoção das medidas de racionamento nos Sistemas de abastecimento do Descoberto e Santa Maria foi realizada a análise do consumo de água.

Para a realização dessa análise foram necessários os dados de consumo mensal de cada RA e o número de habitantes anual no período do estudo (janeiro de 2013 a dezembro de 2017). Foram consideradas a taxa média de crescimento geométrico anual (TMCGA) disponibilizada no PDAD 2016 (Tabelas 4-21e 4-22).

Tabela 4-21: TMCGA das Regiões Administrativas abastecidas pelo sistema Descoberto.  
(Adaptado de Codeplan, 2016).

<b>Região Administrativa</b>	<b>TMCGA PDAD (2013-2015)</b>
Águas Claras	7.81%
Candangolândia	-0.11%
Ceilândia	4.06%
Gama	2.54%
Guará	5.19%
Núcleo Bandeirante	2.82%
Park Way	0.25%
Recando das Emas	2.24%
Riacho Fundo	3.26%
Riacho Fundo II	14.53%
Samambaia	5.56%
Santa Maria	0.97%
Taguatinga	1.59%
Vicente Pires	0.21%

Tabela 4-22: TMGCA das Regiões Administrativas abastecidas pelo sistema Santa Maria.  
(Adaptado de Codeplan, 2016).

<b>Região Administrativa</b>	<b>TMGCA (2013-2015)</b>
Plano Piloto	0.60%
Lago Sul	-1.42%
Sudoeste/Octogonal	0.63%
Lago Norte	3.09%
Paranoá	1.91%
Itapoã	7.19%
Cruzeiro	1.56%
Jardim Botânico	3.99%
SCIA/ Estrutural	5.44%
S.I.A.	-0.15%
Varjão	-0.42%

Para evitar a interferência do crescimento populacional na análise, as taxas de redução foram obtidas por meio de valores de consumo per capita. Ou seja, sabe-se que o volume de consumo tende a aumentar por causa do crescimento populacional, entretanto, o consumo individual não vai aumentar necessariamente.

Assim, foi calculado o consumo per capita de cada ano de interesse, mês a mês. É importante ressaltar que esse per capita calculado pode ser superestimado nos meses iniciais do ano, levando em consideração que a população considerada para cada mês foi a população



anual.

As medidas que foram adotadas para a realização da análise do consumo são:

- Sistema Descoberto:

*Primeiro conjunto:*

Período: 23 de novembro de 2016 a 15 de janeiro de 2017.

Medidas: Redução de pressão e tarifa de contingência.

*Segundo conjunto:*

Período: 16 de janeiro de 2017 a 31 de maio de 2017.

Medidas: Redução de pressão, tarifa de contingência e rodízio de 1 dia

*Terceiro conjunto:*

Período: 1 de junho de 2017 a 31 de dezembro de 2018.

Medidas: Redução de pressão e rodízio de 1 dia.

- Sistema Santa Maria:

*Primeiro conjunto:*

Período: 24 de outubro de 2016 a 26 de fevereiro de 2017

Medidas: Tarifa de contingência e redução de pressão

*Segundo conjunto:*

Período: 27 de fevereiro de 2017 a 30 de maio de 2017

Medidas: Tarifa de contingência, redução de pressão e rodízio de 1 dia.

*Terceiro conjunto:*

Período: 1 de junho de 2017 a 02 de fevereiro de 2018

Medidas: Redução de pressão e rodízio de 1 dia.

Portanto, as porcentagens de redução do consumo foram obtidas por meio da comparação do consumo por habitante no período em que ocorreu a aplicação das medidas com o consumo médio por habitante no mesmo período sem a aplicação das medidas. Esse consumo médio por habitante foi obtido a partir da média do consumo per capita do ano de 2013 a 2016.

A porcentagem relativa da redução do consumo de água foi calculada a partir da Equação 4.1.

$$R = 1 - \frac{C_{2017}}{C_{média}} \times 100 \quad (4.1)$$

Onde:

R = Redução de consumo em porcentagem;

$C_{2017}$  = Consumo médio *per capita* com as medidas;

$C_{média}$  = Consumo médio da *per capita* sem as medidas no ano de (2013 a 2016).

Nessa análise também foi considerada a mudança de comportamento do uso da água de cada RA, pois a taxa de redução de consumo foi calculada para cada RA.

### 4.3 MODELAGEM COMPUTACIONAL

Primeiramente, foi necessário determinar as medidas que seriam consideradas na modelagem. A proposta foi considerar as ações que foram aplicadas para o ano de 2017. Tais como o rodízio, a redução de pressão, a aplicação da tarifa de contingência até o mês em que foi aplicado, além de considerar o suporte de novos mananciais de captação para aliviar os sistemas Descoberto e Santa Maria.

A primeira etapa da modelagem se deu com a construção da rede no WEAP. Foram utilizados os planos de informação em formato vetorial dos rios e lagos que estão dentro do limite do DF, também foi introduzido no WEAP o plano de informação da mancha da área urbana, a projeção usada foi SIRGAS 2000 Zona 23S. A partir da inserção desses planos de informação foi possível desenhar o traçado dos rios, localizar os reservatórios e os pontos de demanda.

Em relação ao sistema Descoberto foram considerados seis afluentes principais e quatorze pontos de demanda, sendo eles as treze RAs e um ponto de demanda agrícola que representa todas as retiradas outorgadas do uso da água para irrigação. No sistema Santa Maria foram considerados três afluentes principais e onze pontos de demanda.

Foi considerada a presença de novos subsistemas que começaram a auxiliar o sistema Santa Maria, são eles: subsistema Bananal que passou a contribuir com o abastecimento das RAs Plano Piloto, Cruzeiro e Park Way e o subsistema Lago Norte que passou a contribuir com o abastecimento das RAs Lago Norte, Varjão, Setor de Mansões do Lago Norte, Taquari, Paranoá e Itapoã. Essas contribuições serão inseridas na rede de abastecimento a partir da implementação que se deu em cada subsistema.

Foram adicionados à rede hídrica do WEAP dois reservatórios: o Descoberto e a Santa Maria. Esses reservatórios têm como finalidade exclusiva o abastecimento dos nós de demanda e o acúmulo de água se dá em função das vazões geradas nos rios afluentes. É importante salientar que foi considerada a contribuição do Torto no abastecimento das RA's do sistema

Santa Maria/Torto, para isso a CAESB disponibilizou os dados de vazão captada na barragem de nível do Torto, os dados são desde 2013 até 2018. Para a análise dos cenários foi considerada a média de vazão captada de 2013 a 2017 para cada mês. Também foi considerado que a barragem de nível Cabeça de Veado contribui com uma vazão de 100 L/s para o sistema.

Para começo de análise foi necessário definir um ano de referência, que para fins desse trabalho é o ano de 2013, por motivos de disponibilidade de dados e por ser considerado um ano sem muitas alterações no sistema como um todo. Esse ano de referência é definido como o cenário atual, e são inseridos somente dados do sistema hídrico referentes a esse ano. Ou seja, a entrada das vazões dos rios afluentes ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) e as demandas urbanas ( $\text{m}^3/\text{hab}/\text{ano}$ ) que foram inseridas no WEAP são referentes ao ano de 2013.

Os dados necessários para a caracterização dos reservatórios foram de capacidade de armazenamento, volume inicial, volume inativo, evaporação líquida, curva cota x volume, coeficiente de amortecimento e prioridade. O coeficiente de amortecimento serve para reduzir os lançamentos quando o nível de armazenamento está na zona de amortecimento. Na Figura 4-8 são mostradas as zonas de operação do reservatório.

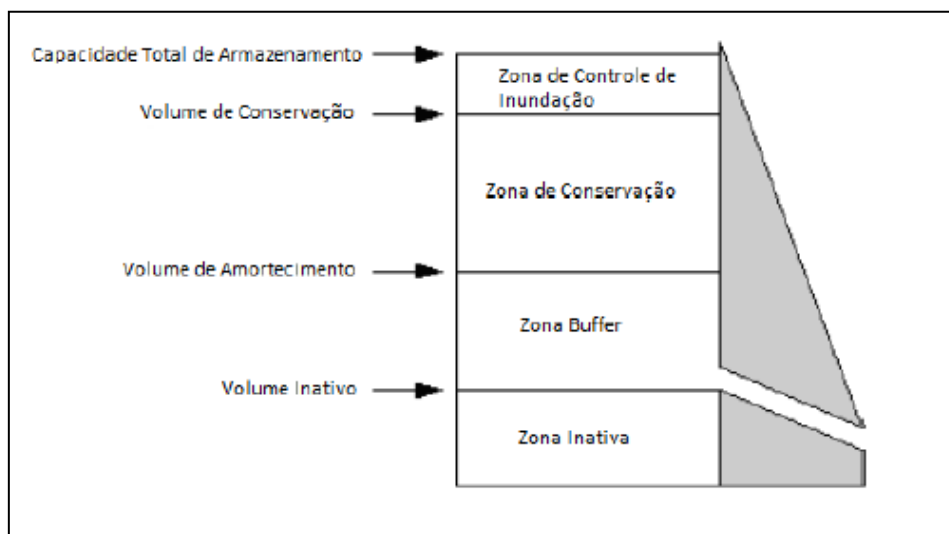


Figura 4-8: Representação do reservatório no WEAP (Fonte: SEI, adaptado Jorge, 2017).

O cenário de referência serve de modelo para os próximos cenários e transmite características do cenário atual, ou seja, sem interferência. O cenário simulado corresponde ao período de 2014 a 2020. Os incrementos deste cenário se devem à consideração do crescimento demográfico. No WEAP foram inseridas as taxas de crescimento populacional, e o próprio programa calcula a projeção para os anos de interesse, esse crescimento populacional irá influenciar as demandas urbanas anuais.

Em relação à modelagem hidrológica simplificada foi utilizado o método *Water Year Method* para o cálculo das vazões de entrada dos anos futuros. Para isso, foi necessário definir uma distribuição hidrológica para cada ano, sendo definida no modelo como normal, úmido, muito úmido, seco ou muito seco. O peso atribuído para o ano seco, muito seco, úmido e muito úmido tem como base as entradas de um ano normal. Uma vez que o ano normal é definido, os influxos nos outros anos são classificados como parcelas do ano considerado normal (Abdullahi *et. al*, 2014).

Para esse estudo, após analisar o histórico de vazões médias dos afluentes do reservatório, o ano normal considerado é o de 2013. Para o sistema Descoberto, foram considerado os coeficientes propostos por Jorge (2017), que assumiu que um ano seco teria 20% menos fluxos que um ano normal, enquanto um ano muito seco teria 40% menos de fluxo. Entretanto, o ano úmido e muito úmido teriam 20% e 40%, respectivamente, mais entradas quando comparados a um ano normal (Tabela 4-23). Para o sistema Santa Maria, após a realização da análise dos fluxos dos afluentes, foram considerados os coeficientes apresentados na Tabela 4-24.

Tabela 4-23: Definições Water Year Method (Sistema Descoberto) – Adaptado Jorge (2017).

Tipo de ano hidrológico	Coeficiente
Muito Seco	0.6
Seco	0.8
Normal	1
Úmido	1.2
Muito Úmido	1.4

Tabela 4-24 : Definições Water Year Method (Sistema Santa Maria)

Tipo de ano hidrológico	Coeficiente
Muito Seco	0.40
Seco	0.60
Normal	1
Úmido	1.2
Muito Úmido	1.4

Para a escolha do coeficiente que mais se aproximasse do comportamento da vazão afluente observada foi calculado o coeficiente de Nash-Sutcliffe, que avalia o desempenho da simulação realizada pelo modelo. É importante ressaltar que para uma melhor calibração é necessário que o modelo considere que cada rio tenha seu próprio coeficiente. O coeficiente de Nash-Sutcliffe ( $C_{ns}$ ) é calculado pela seguinte equação 4-2 (Brighenti *et al*, 2016):

$$C_{NS} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obs_i} - Q_{sim_i})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{obs_i} - \bar{Q}_{obs})^2} \quad (4-1)$$

Onde:

$Q_{OBSi}$ = Vazão observada

$Q_{SIMi}$ =Vazão simulada

$Q_{OBS}$ = Vazão média observada

$n$ = número de eventos

O modelo WEAP foi utilizado com o propósito de simular o volume dos reservatórios estudados a partir dos dados de oferta e demanda e considerando o decaimento do consumo no decorrer da aplicação das medidas de enfrentamento da crise hídrica.

Para a realização da simulação do balanço hídrico dos reservatórios no WEAP foi necessário um conjunto de informações a serem inseridas no modelo, sendo elas:

- ✦ Características físicas do reservatório: capacidade máxima de acumulação, nível mínimo operacional, curva cota x volume e prioridade;
- ✦ Dados hidrológicos: vazões afluentes, pluviometria e evaporação sobre a área do lago e níveis observados do reservatório;
- ✦ Demandas de retirada: consumo, perdas do sistema, irrigação, vazão remanescente.

O balanço hídrico no WEAP consiste no cálculo das entradas e saídas de água durante o período de interesse (2013 a 2020). O armazenamento do reservatório em um período qualquer é a diferença entre as entradas e as saídas.

O modelo atende o princípio básico de balanço hídrico, e opera mensalmente. As regras de abastecimento e operação do reservatório determinam a quantidade de água disponível em um determinado mês para satisfazer a demanda.

Nesse estudo, foram consideradas como entradas do sistema: as vazões dos afluentes

e evaporação líquida na superfície dos reservatórios. Já as saídas consideradas foram as demandas urbanas para usos consuntivos, perdas na distribuição de água, demanda de irrigação. A prioridade dos reservatórios é o abastecimento urbano e a vazão remanescente é de 0,6 m<sup>3</sup>/s no ano de 2013.

A partir dessas considerações, a etapa de definição dos cenários foi baseada em projeções das demandas futuras sob colocações de cenários hidrológicos.

No modelo, as taxas de crescimento populacional foram consideradas constantes para todo o período do estudo e teve como origem o PDAD 2013/2015. Sabe-se que as taxas de crescimento variam de ano para ano e, a consideração dessas taxas como constantes, pode acarretar na superestimação dos cenários em relação ao consumo de água.

O consumo per capita utilizado para a construção dos cenários para os anos de 2018 a 2020 é a média per capita dos anos de 2013 a 2016, tabela 4-25 e 4-26.

Tabela 4-25: Volume de consumo médios per capita para o ano de 2013 - 2016 (m<sup>3</sup>/hab.ano).

RA	m <sup>3</sup>
Águas Claras	81.51
Candangolândia	48.36
Ceilândia	37.97
Gama	46.82
Guará	67.31
Núcleo	
Bandeirante	56.9
Park Way	107.7
Recando das	
Emas	34.68
Riacho Fundo	50.57
Riacho Fundo II	37.92
Samambaia	39.54
Santa Maria	50.57
Taguatinga	61.31
Vicente Pires	54.3

Tabela 4-26: Volume de consumo médio per capita para o ano de 2013-2016 (m<sup>3</sup>/hab.ano).

RA	m <sup>3</sup>
Cruzeiro	60.79
Itapoã	33.26
Jardim Botânico	66.19
Lago Norte	95.67
Lago sul	166.76
Paranoá	40.04
Plano Piloto	130.78
SCIA/ ESTRUTURAL	30.25
SIA	578.32
Sudoeste/Octogonal	83
Varjão	36.34

As taxas de redução da demanda por RA a partir da aplicação de cada conjunto de medida de racionamento foram inseridas na parte de gerenciamento da demanda do modelo WEAP. Os valores das taxas foram calculados na parte de análise dos dados de consumo e está apresentada no próximo capítulo.

Conforme a Resolução Conjunta ADASA/SECIMA/ANA N° 01, de 06 de março de 2017, nos períodos em que o rodízio no abastecimento de água estiver em vigor, considera-se racionamento de água para irrigação de 50%.

A perda do sistema de abastecimento inserida no modelo foi de 27,1% conforme apresentado nos relatórios do SNIS “ Diagnósticos dos serviços de água e esgoto”.

Conforme já mencionado, algumas RA's que eram abastecidas pelo sistema Descoberto passaram a ser abastecidas pelo sistema Santa Maria, além de ter ocorrido a criação de 2 subsistemas com intuito de subsidiar o sistema Santa Maria. Assim, essas mudanças na rede foram inseridas no modelo a partir de outubro de 2017. As alterações são apresentadas a seguir:

- Transferência completa da demanda de água do Guará, Candangolândia, Núcleo Bandeirante e Park Way para o Sistema Santa Maria.
- Subsistema Lago Norte passando a abastecer: Lago Norte, Varjão, Setor de Mansões do Lago Norte, Taquari, Paranoá e Itapoã e contribuindo com o Sistema Santa Maria/Torto com vazão média de 100 l/s.
- Subsistema Bananal passa a contribuir com o Sistema Santa Maria/ Torto. Destaca-se que em 2017 também foi considerada a contribuição de 600 l/s a partir de outubro.

Os cenários realizados serão descritos a seguir:

**Cenário 1 e 3** – Redução do consumo devido a diminuição de consumo por parte da população: Este cenário buscou analisar o caso em que a população teria um uso racional de água e por esse motivo a redução em relação à média do consumo de 2013 a 2016 seria de 7%. Logo, o cenário 1 (A) considera essa redução e o cenário 1 (B) não leva em consideração essa redução. Com relação aos aspectos climatológicos consideram-se os anos de 2018 normal, 2019 seco e 2020 muito seco (cenários pessimistas). Já os cenários 1(C) e 1(D) consideram 2018 normal, 2019 úmido e 2020 muito úmido (cenários otimistas), e somente o cenário 1 (C) considera a redução do consumo. Ressalta-se aqui que o cenário 1 é construído para o reservatório Santa Maria e cenário 3, para o reservatório Descoberto.

**Cenário 2 e 4** – Duração das medidas de racionamento: O segundo cenário analisa um caso hipotético de como seria se as medidas de racionamento fossem aplicadas até dezembro de 2018 e como seria com as medidas válidas até junho de 2018. O cenário 2 (A) considera medidas em todo o ano de 2018, enquanto o cenário 2 (B) considera as medidas até junho de 2018, os anos hidrológicos para os dois cenários seriam 2018 normal, 2019 seco e 2020 muito seco (cenários pessimistas). Entretanto, os cenários 2 (C) e 2 (D) considera 2018 normal, 2019 úmido e 2020 muito úmido (cenários otimistas). O cenário 2 (C) considera as medidas sendo aplicadas até dezembro de 2018 e o cenário 2 (D) considera as medidas até junho de 2018. O cenário 2 é construído para o reservatório Santa Maria/ Torto e o cenário 4, para o Descoberto.

**Cenário 5** – Considera a contribuição do Corumbá IV no sistema Descoberto: Esse cenário considera a contribuição do Corumbá IV no sistema Descoberto com vazão de aproximadamente de 1.4 m<sup>3</sup>/s a partir de 2019. O cenário 5 otimista leva em consideração os seguintes anos hidrológicos 2018 normal, 2019 úmido e 2020 muito úmido (cenários otimistas). O cenário 5 pessimista considera 2018 normal, 2019 seco e 2020 muito seco (cenários pessimistas).

Nas Figuras 4-9, 4-10, 4-11 são apresentados os gráficos exemplificando os cenários criados nesse trabalho.



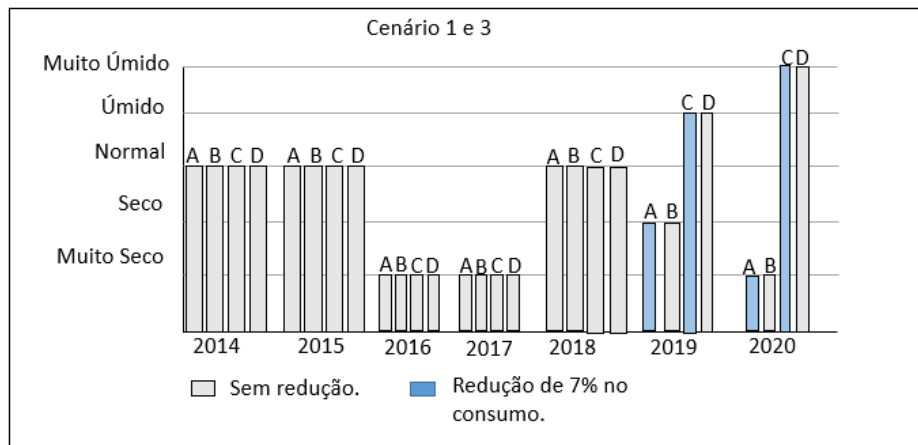


Figura 4-9: Consumo consciente da população considerando redução de consumo.

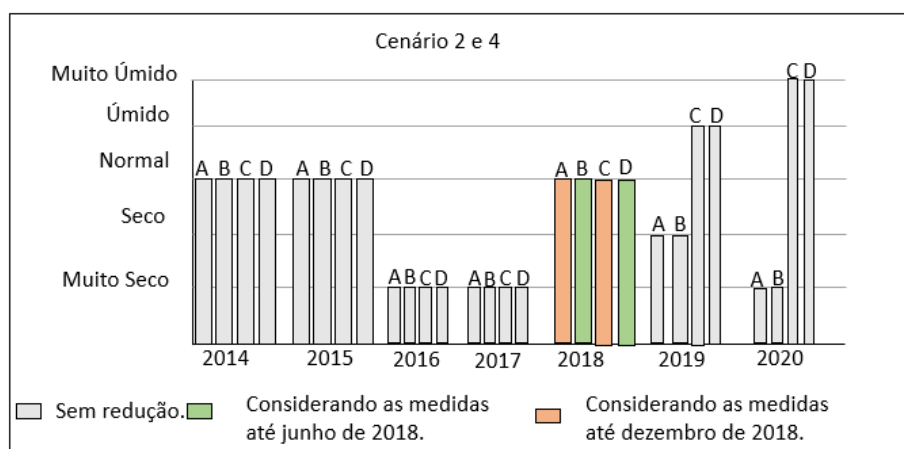


Figura 4-10: Duração das medidas de racionamento.

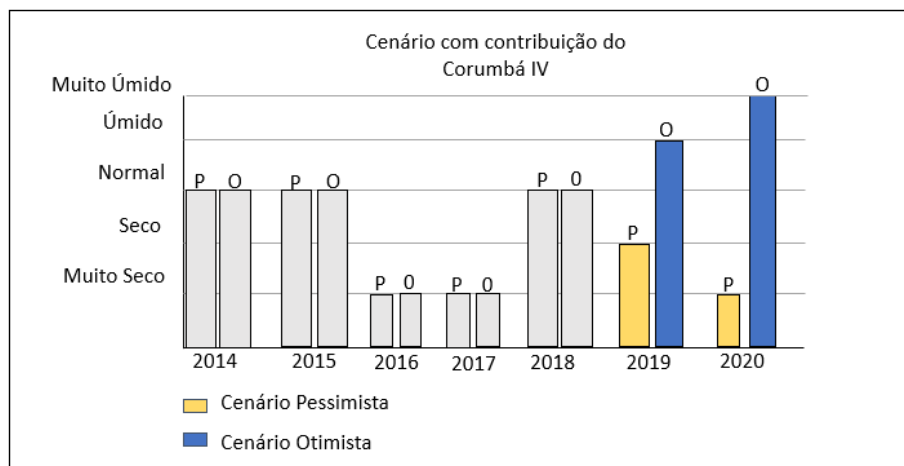


Figura 4-11: Cenário com contribuição do Corumbá IV

Os passos metodológicos que foram desenvolvidos durante a modelagem WEAP estão representados esquematicamente na Figura 4-12.

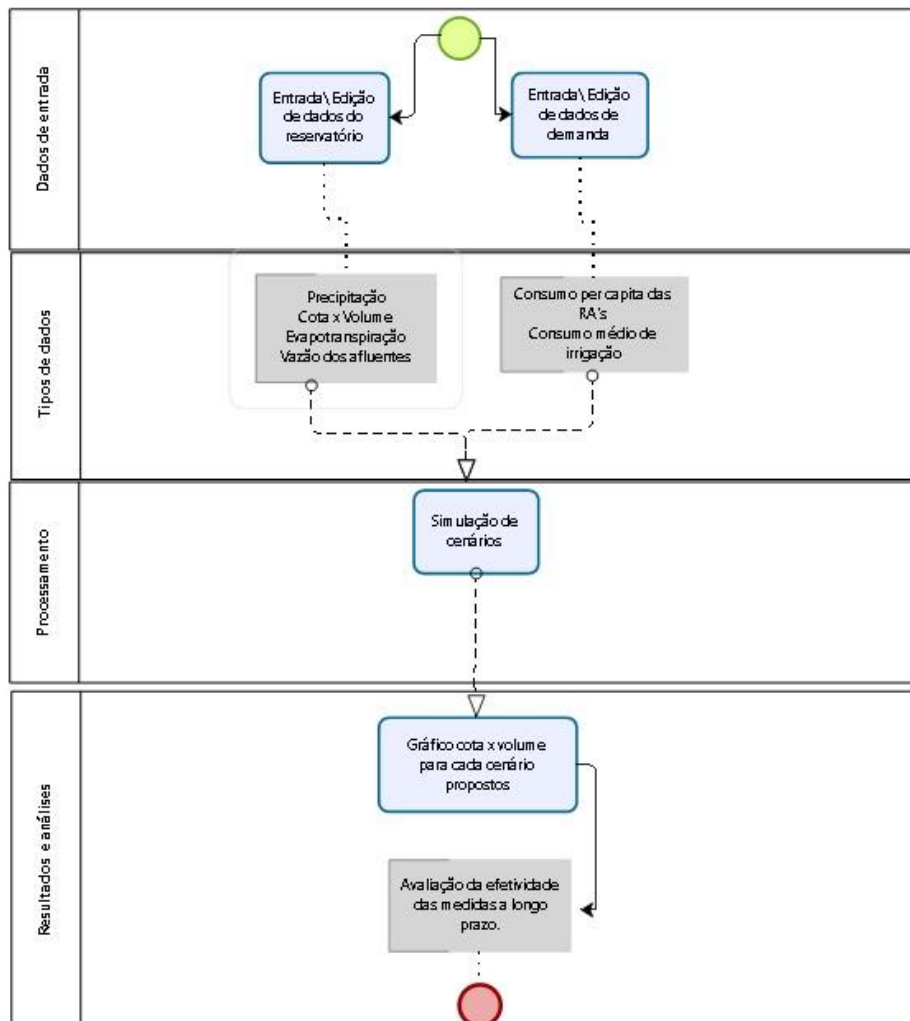


Figura 4-12: Passos metodológicos para a modelagem no programa WEAP

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 ANÁLISE DO CONSUMO NOS SISTEMAS DESCOBERTO E SANTA MARIA

De acordo com Yassuda *et al.* (1976), Heller e Pádua (2006) e Tsutiya (2006) o consumo doméstico de água pode ser influenciado por alguns fatores como aspectos climáticos, perfil da cidade ou bairro, nível socioeconômico da população e preço do serviço.

No que tange ao nível socioeconômico da população é clara a relação que existe entre o elevado padrão socioeconômico e o maior consumo de água. Esse fato tem ligação com as atividades que geralmente pessoas com maior renda têm mais acesso, como por exemplo, atividades ligadas ao lazer, uso de piscinas e duchas e irrigação de grandes áreas de jardins em suas residências. Também atividades domésticas como uso de máquinas e lavagem de automóveis (Dalmônica, 2014).

É apresentado na tabela 5-1 a renda per capita de cada região administrativa analisada nesse trabalho. Renda domiciliar mensal per capita (PDAD, 2015).

Tabela 5-1: Renda domiciliar mensal per capita em R\$ (PDAD, 2015).

Renda Domiciliar Mensal Per Capita			
Sistema Descoberto		Sistema Santa Maria	
RA	Per Capita	RA	Per capita
Park Way	5207,54	Lago Sul	8117,53
Águas Claras	3339,91	Sudoeste/Octogonal	6589,90
Vicente Pires	2757,51	Plano Piloto	5559,75
Guará	2683,23	Jardim Botânico	3930,39
Taguatinga	1998,14	Lago Norte	3930,39
Núcleo			
Bandeirante	1842,38	Cruzeiro	2725,23
Riacho Fundo	1624,19	S.I.A.	1763,13
Gama	1396,93	Paranoá	756,88
Candangolândia	1460,98	Itapoã	702,38
Samambaia	914,61	Varjão	627,80
Santa Maria	887,63	SCIA - Estrutural	521,80
Riacho Fundo II	930,37		
Ceilândia	914,75		
Recanto Das			
Emas	803,92		

Portanto, foi realizada uma análise correlacionando graficamente a renda per capita de cada RA ao consumo per capita em relação ao ano de 2015, figura 5-1.

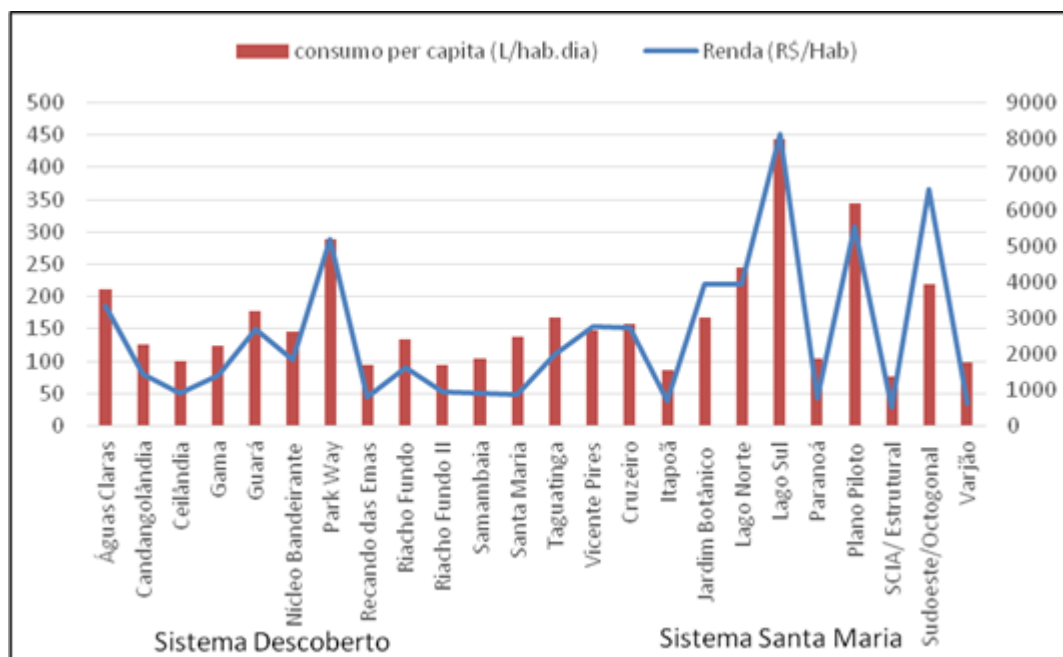


Figura 5-1:Consumo e renda per capita - PDAD 2015/2016 (Adaptado, Codeplan 2016).

Percebe-se que na figura 5-1 as regiões que apresentam maiores consumos per capita são aquelas que possuem maior renda. Vale lembrar que a Região Administrativa S.I.A. também apresentou um consumo elevado de 1507 L/hab.dia no ano de 2015, mas deve-se destacar que essa região é caracterizada por ser um polo industrial, ou seja, realmente o consumo em volume ( $m^3$ ) é alto, porém esse consumo tem influência direta com o uso comercial e industrial, ressalta-se também que a renda mensal da população no S.I.A é cerca de 1763 reais por pessoa.

É possível inferir que existe uma disparidade de consumo de água, por exemplo entre as RAs Plano Piloto, Cruzeiro, Lago Sul com as RAs Itapoã e Varjão. Entretanto, essa discrepância não é influenciada somente pela diferença de renda. A Codeplan (2015) destaca que essa temática de consumo de água também tem relação com os padrões de urbanização.

Foi realizada uma comparação entre 3 grupos, sendo que eles foram divididos por RAs que apresentam em média renda per capita semelhantes. O objetivo é perceber as possíveis diferenças de consumo dessas RAs que possuem rendas similares, mas eventualmente consumo de água diferentes e discutir essas diferenças e/ou similaridade.

*Grupo 1:* Lago Sul, Park Way e Lago Norte;

*Grupo 2:* Plano Piloto, Sudoeste/Octogonal e Águas Claras;

*Grupo 3:* Recanto das Emas, Itapoã e Paranoá.

Na figura 5-2 apresenta variação mensal do consumo per capita de água e nota-se que as 3 RAs possuem um consumo acima do recomendado pela Organização Mundial da Saúde (OMS) – 110 Litros. Além de possuírem as maiores rendas per capita do Distrito Federal o modelo de urbanização é difusa, ou seja, se caracteriza por lotes unifamiliares de grandes dimensões, densidade habitacional baixa, presença de piscinas, áreas com jardim. Como já mencionado o Distrito Federal tem uma estação marcada pela seca, isso demanda maior demanda de água para irrigação do jardim, o que agrava ainda mais a demanda hídrica. Segundo a Codeplan (2015) nessas localidades, a alta renda combinada com o padrão disperso da ocupação acarreta em maior consumo.

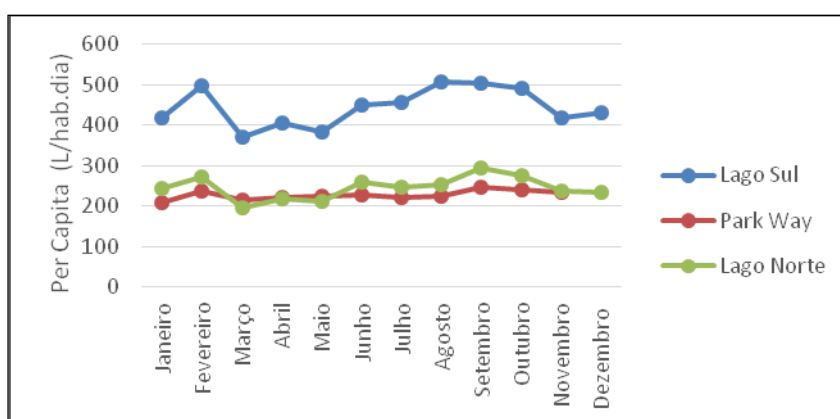


Figura 5-2: Consumo per capita de água em 2015 do grupo 1.

A figura 5-3 apresenta o grupo 2, que também é caracterizado por possuir renda alta e padrões de consumo de água elevados. Observa-se que o Plano Piloto apresenta consumo mais elevado que as outras RAs. O caso do Plano Piloto apresentar alta demanda de água também se atribui ao fato de que o volume (m<sup>3</sup>) demandado para essa região é maior que as demais, tendo em vista o fluxo de deslocamento de pessoas que saem do Entorno e de outras RAs e passam o dia no Plano Piloto, seja para estudo, trabalho, lazer ou à procura de serviços de saúde, segundo a Codeplan cerca de 550 mil pessoas vão à região diariamente (2011). Esse grupo possui um padrão de ocupação multifamiliar, com densidade habitacional média/elevada e o consumo também alto, nesse caso a renda é um fator de maior peso.

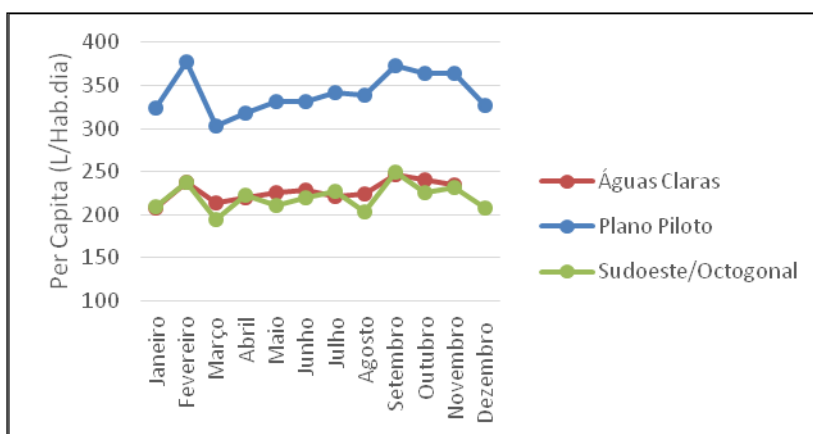


Figura 5-3: Consumo per capita de água em 2015 do grupo 2.

Na figura 5-4 é apresentado o grupo 3, que tem característica como já apresentadas na figura 5-1 de ser regiões com menor renda e menor consumo per capita, quando comparadas as demais. Em relação ao modelo de urbanização dessas RAs, elas possuem certas particularidades como lotes unifamiliares com dimensão reduzida e quase nenhuma presença de áreas ajardinadas, densidade habitacional média/elevada, logo o fato de terem baixo consumo é relacionado com a menor renda, porque impõe hábitos de consumo mais moderados e menos posse de bens, além de não terem acesso a atividades que demandam maior consumo de água. Sendo o modelo habitacional um item que se soma aos demais para definição desse padrão de consumo de água (Codeplan, 2016).

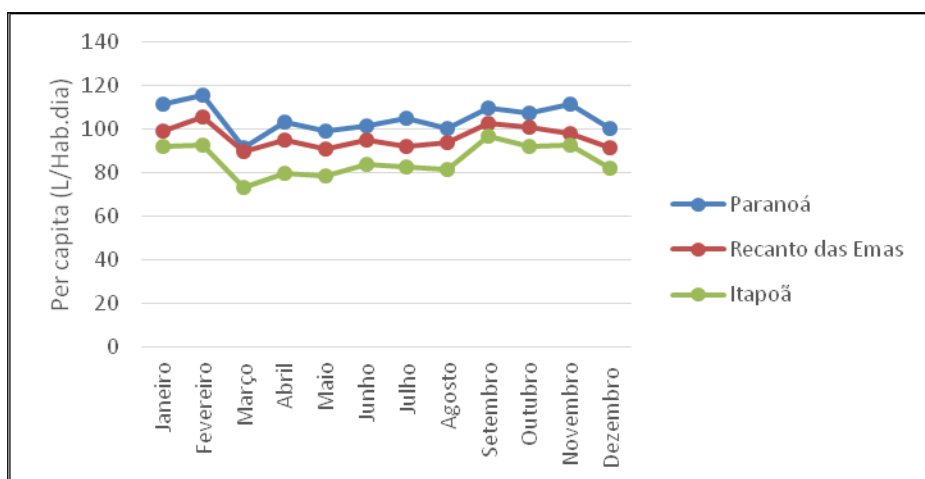


Figura 5-4: Consumo per capita de água em 2015 do grupo 3.

Essa análise aponta a importância de se investir em modelos de urbanização mais compactos no DF, de forma que além de racionalizar a distribuição das redes, seja possível obter padrões mais sustentáveis de consumo.

O consumo per capita médio anual dos anos de 2013 ao ano de 2017 é apresentado nas Figuras 5-5 e 5-6 a maioria das RA de interesse, exceto a RA S.I.A. que é apresentado na figura 5-7. É perceptível que o consumo teve uma tendência espontânea de diminuir, quando observados os anos de 2013 ao ano de 2016. Observa-se que algumas RAs como por exemplo, Recanto das Emas, Itapoã e Estrutural já tinham um consumo per capita menor do que o recomendado. Entretanto quando observado o ano de 2017 a maioria das RAs apresentaram uma significativa redução na per capita devido a adoção de medidas e campanhas educativas.

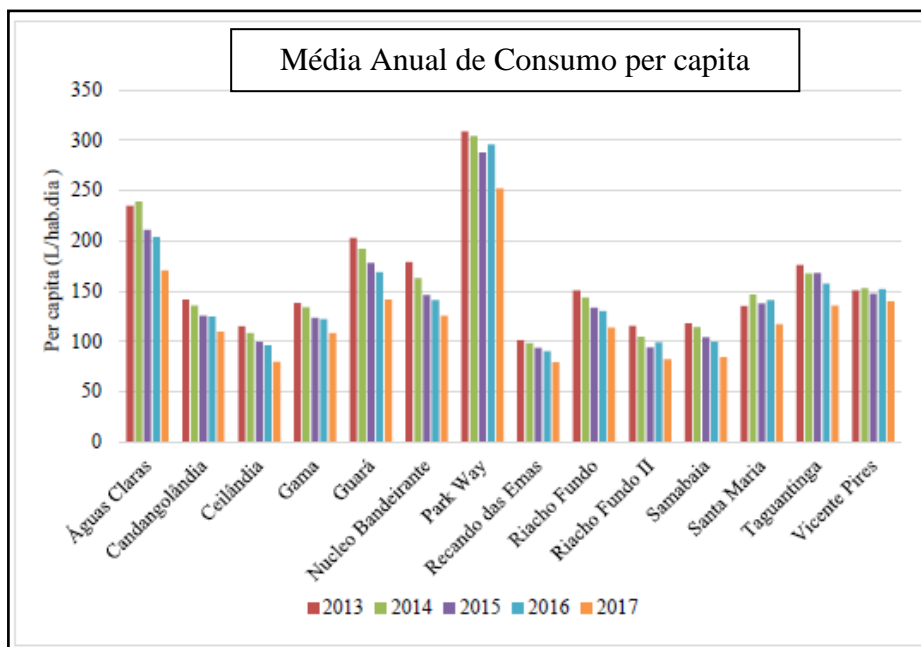


Figura 5-5: Consumo médio per capita dos anos de 2013 - 2016 no Sistema Descoberto (Fonte: Jorge, 2017).

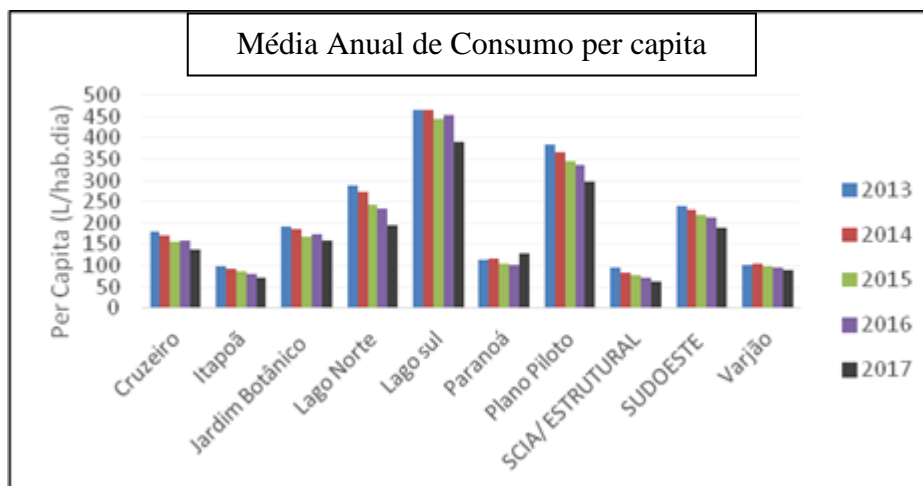


Figura 5-6: Consumo médio per capita dos anos de 2013 – 2016 no Sistema Santa Maria.

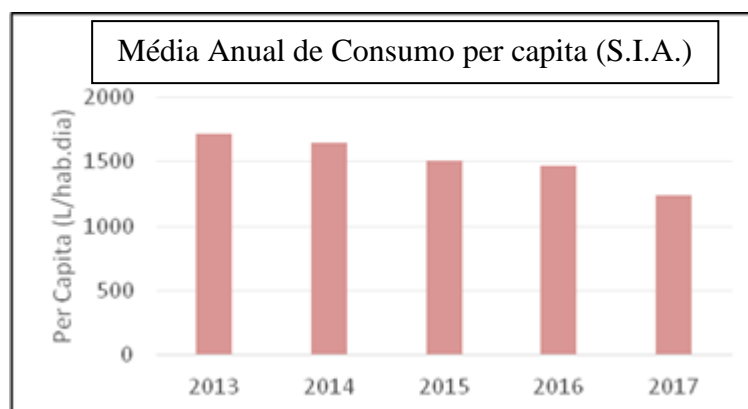


Figura 5-7: Consumo médio per capita anual dos anos de 2013 a 2017 na RA S.I.A.

Serão apresentadas nas tabelas 5-2, 5-4, 5-6 as taxas de redução de consumo observadas a partir da implementação de medidas de racionamento no Sistema Descoberto, essas taxas foram calculadas com base na comparação da média do consumo entre os meses com e sem as medidas, essa análise foi realizada por Jorge (2017). E tendo como base essa mesma metodologia foi também calculada as taxas de redução de consumo para o Sistema Santa Maria como apresentado nas tabelas 5-3, 5-5, 5-7.

É importante ressaltar que devido à falta de precisão da estimativa da população para o período analisado, os resultados fornecem apenas uma estimativa próxima, podendo não ser fiéis à realidade. Os valores destacados em vermelhos são aqueles que o padrão de consumo aumentou mesmo com a implantação das medidas, fato que corresponde a um comportamento inesperado.

Destaca-se também que todos os conjuntos possuem uma significativa consideração da influência das campanhas educativas de incentivo ao consumo, assim como a redução de perdas ao longo da rede de abastecimento e melhorias que foram feitas na rede ao longo de 2017.

A Tabela 5-2 mostra as taxas por RAs após a aplicação do primeiro conjunto de medida,



em média a redução de consumo foi de 5%. Destaca-se Núcleo Bandeirante e Ceilândia que obtiveram uma taxa de redução de consumo maior que 10%, entretanto, Riacho Fundo II e Vicente Pires tiveram taxas negativas, ou seja, apresentou maior consumo após a aplicação das medidas, de acordo com a metodologia aplicada. É importante ressaltar que esse conjunto de medidas foi considerada para análise somente um mês que foi quando ficou vigente somente as 2 medidas consideradas.

A tabela 5-3 mostra que as RAs atendidas pelo Sistema Santa Maria atingiram em média 6,77 % de redução de consumo. Todas as RAs tiveram redução no consumo, e o Lago Norte e SCIA/Estrutural se destacaram por reduzirem o consumo em 11% e 9,88%, respectivamente. É importante evidenciar que o período de aplicação desse primeiro conjunto de medida foi maior que no Sistema Descoberto.

Tabela 5-2: Taxas de redução de consumo por RA com aplicação de Redução de Pressão + Tarifa de Contingência, Sistema Descoberto (Fonte: Jorge, 2017).

<b>1º CONJUNTO DE MEDIDAS DE RACIONAMENTO APLICADAS NO DF</b>			
<b>Redução da pressão da rede + Tarifa de Contingência (23/11/16 - 15/01/17)</b>			
<b>Região Administrativa</b>	<b>Média Período s/ medidas (L/hab.dia)</b>	<b>Média Período c/ medidas (L/hab.dia)</b>	<b>Redução do consumo</b>
Águas Claras	217	200	7,82%
Candangolândia	123	115	6,92%
Ceilândia	102	90	11,72%
Gama	123	112	8,80%
Guará	178	160	10,14%
Núcleo Bandeirante	153	136	11,26%
Park Way	272	271	0,35%
Recando das Emas	92	84	8,95%
Riacho Fundo	133	125	5,73%
Riacho Fundo II	101	106	-5,31%
Samambaia	106	95	10,40%
Santa Maria	138	136	1,58%
Taguatinga	161	154	4,43%
Vicente Pires	137	138	-0,96%

Tabela 5-3: Taxas de redução de consumo por RA com aplicação de Redução de Pressão + Tarifa de Contingência, Sistema Santa Maria.

<b>1º CONJUNTO DE MEDIDAS DE RACIONAMENTO APLICADAS NO DF</b>			
<b>Tarifa de Contingência + Redução de Pressão ( 24/10/2016 -26/02/2017)</b>			
Região Administrativa	Média Período s/ medidas (L/hab.dia)	Média Período c/ medidas (L/hab.dia)	Redução do consumo
Cruzeiro	157	148	6.30%
Itapoã	84	76	9.60%
Jardim Botânico	165	157	4.60%
Lago Norte	230	205	11.00%
Lago sul	415	395	4.71%
Paranoá	126	119	5.31%
Plano Piloto	333	311	6.70%
SCIA/ Estrutural	76	69	9.88%
SIA	1.457	1.360	6.64%
Sudoeste	211	199	5.58%
Varjão	98	94	4.19%
<b>Total</b>			<b>6.77%</b>

O segundo conjunto de medidas implementadas no DF considera a redução de pressão, tarifa de contingência e rodízio no abastecimento de 1 dia a cada 6 dias da semana sem fornecimento de água. Na tabela 5-4 mostra que no Sistema Descoberto foi alcançado uma redução mais significativa de redução de consumo em média 19%, além disso as RAs apresentaram menor variação no percentual dessa redução.

O Sistema Santa Maria apresentou uma taxa de redução de consumo de 15,93% Figura 5-5, destaca-se que o período de aplicação das três medidas foi menor que no outro sistema de abastecimento. A RA Paranoá apresentou taxa negativa, o que não era esperado, conforme a metodologia aplicada esse valor negativo informa que com a aplicação do segundo conjunto de medida o consumo per capita aumentou.

Tabela 5-4: Taxas de redução de consumo por RA com aplicação de Redução de Pressão + Tarifa de Contingência + Rodízio de 1 dia, Sistema Descoberto (Jorge, 2017).

<b>2º CONJUNTO DE MEDIDAS DE RACIONAMENTO APLICADAS NO DF</b>			
<b>Redução da pressão + Tarifa de Contingência + Rodízio (16/01/17 - 31/05/17)</b>			
Região Administrativa	Média Período s/ medidas (L/hab.dia)	Média Período c/ medidas (L/hab.dia)	Redução do consumo
Águas Claras	224	169	25%
Candangolândia	133	110	17%
Ceilândia	104	78	24%
Gama	128	106	17%
Guará	183	138	24%
Núcleo Bandeirante	159	123	23%
Park Way	286	239	16%
Recando das Emas	96	78	18%
Riacho Fundo	138	112	19%
Riacho Fundo II	100	82	18%
Samambaia	107	84	22%
Santa Maria	138	114	17%
Taguatinga	169	134	21%
Vicente Pires	144	134	7%

Tabela 5-5: Taxas de redução de consumo por RA com aplicação de Redução de Pressão + Tarifa de Contingência + Rodízio de 1 dia, Sistema Santa Maria.

<b>2º CONJUNTO DE MEDIDAS DE RACIONAMENTO APLICADAS NO DF</b>			
<b>Tarifa de Contingência + Redução de Pressão + Rodízio de 1 dia ( 27/02/2017 - 30/05/2017)</b>			
Regiões Administrativas	Média Período s/ medidas (L/hab.dia)	Média Período c/ medidas (L/hab.dia)	Redução do consumo
Cruzeiro	165	137	16.91%
Itapoã	89	69	22.16%
Jardim Botânico	165	144	12.81%
Lago Norte	251	183	26.95%
Lago sul	443	363	17.92%
Paranoá	109	127	-15.95%
Plano Piloto	355	294	17.19%
SCIA/ Estrutural	82	62	24.88%
SIA	1.570	1.197	23.78%
Sudoeste/Oct.	228	191	16.27%
Varjão	100	88	12.28%
<b>Total</b>			<b>15.93%</b>

O terceiro conjunto de medidas avaliou a eficácia da aplicação de redução de pressão

e rodízio de 1 dia. No Sistema Descoberto a redução de consumo foi de 18%, tabela 5-6. Já o Sistema Santa Maria a redução foi de 15,59%, tabela 5-7. Os valores ficaram próximos ao do segundo conjunto de medidas.

Tabela 5-6: Taxas de redução de consumo por RA com aplicação de Redução de Pressão + Rodízio, Sistema Descoberto (Jorge, 2017).

<b>3º CONJUNTO DE MEDIDAS DE RACIONAMENTO APLICADAS NO DF</b>			
<b>Redução da pressão + Rodízio (01/06/17 - 31/08/17)</b>			
<b>Região Administrativa</b>	<b>Média Período s/ medidas (L/hab.dia)</b>	<b>Média Período c/ medidas (L/hab.dia)</b>	<b>Redução do consumo</b>
Águas Claras	225	171	24%
Candangolândia	128	106	17%
Ceilândia	104	79	24%
Gama	127	108	16%
Guará	185	142	23%
Núcleo Bandeirante	153	124	19%
Park Way	319	269	16%
Recando das Emas	94	79	16%
Riacho Fundo	136	112	18%
Riacho Fundo II	105	81	22%
Samambaia	108	83	23%
Santa Maria	133	115	13%
Taguatinga	167	134	20%
Vicente Pires	155	146	6%

Tabela 5-7: Taxas de redução de consumo por RA com aplicação de Redução de Pressão + Rodízio, Sistema Santa Maria.

<b>3º CONJUNTO DE MEDIDAS DE RACIONAMENTO APLICADAS NO DF</b>			
<b>Redução de Pressão + Rodízio (1/06/2017- 28/02/2018)</b>			
<b>Região Administrativa</b>	<b>Média Período s/ medidas (L/hab.dia)</b>	<b>Média Período c/ medidas (L/hab.dia)</b>	<b>Redução do consumo</b>
Cruzeiro	167	136	18.72%
Itapoã	91	71	21.61%
Jardim Botânico	186	164	12.01%
Lago Norte	266	199	25.24%
Lago sul	468	400	14.53%
Paranoá	110	124	-12.35%
Plano Piloto	360	295	17.94%
SCIA/ Estrutural	83	63	23.82%
SIA	1.608	1.257	21.85%
Sudoeste/Oct.	229	186	18.65%
Varjão	101	91	9.48%
		<b>Total</b>	<b>15.59%</b>

Observa-se que as RAs Itapoã e SCIA/Estrutural apresentaram o maior percentual de redução de consumo, vale lembrar que essas são RAs que já apresentam um consumo per capita baixo quando comparadas às demais, logo o esforço de redução individual é maior quando se comparadas as RAs que também apresentaram alta taxa de redução como o Lago Norte, Sudoeste e SAI, que apresentam maior consumo per capita. Semelhantemente, pode ser observado que no Sistema Descoberto as RAs que já têm um menor consumo como o Recanto das Emas e Ceilândia apresentaram alto percentual de redução e RAs que têm maior consumo como Guarã e Taguatinga também aparecem com uma taxa alta de redução. Segundo Jorge (2017) é importante que haja uma equidade de esforços, onde as maiores taxas fossem observadas nas regiões com maior consumo per capita e não maior consumo em termos de volume.

## 5.2 SIMULAÇÃO NO WEAP

O primeiro passo para a simulação do volume dos reservatórios Descoberto e Santa Maria foi representar a rede de distribuição na plataforma do WEAP, ou seja, os traçados dos rios afluentes de cada reservatório, localização dos reservatórios e os pontos de demanda. Nas figuras 5-7 e 5-8 é mostrado o resultado dessa etapa.

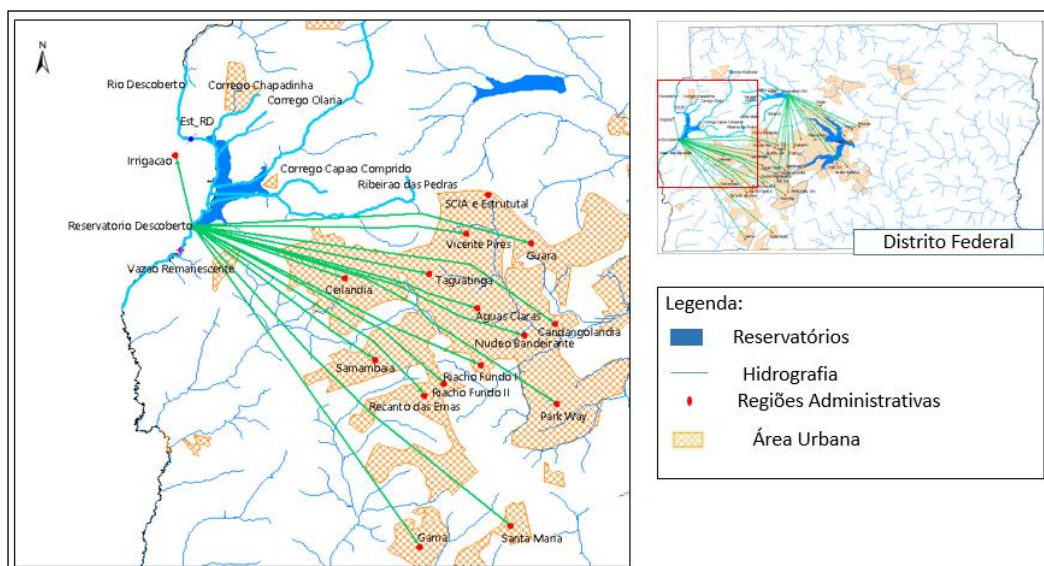


Figura 5-7: Representação do Sistema Descoberto no programa WEAP.

Destaca-se que para fins de simulação não foi considerado a contribuição dos subsistemas de barramento de nível, por motivo de não se ter acesso aos dados mensais desses subsistemas. Então, para fins desse projeto a demanda de água é suprida apenas pelo reservatório do Descoberto. Vale relembrar também que a partir de outubro de 2017 foram

tiradas RAs que passaram a ser abastecidas pelo sistema Santa Maria. Salienta-se também que devido a maior flexibilidade dos sistemas depois da interligação entre eles, pode acontecer de parte do consumo de algumas regiões administrativas serem atendidas pelo sistema Santa Maria/ Torto, mas não ser contabilizado nessa simulação, por limitações de informações a respeito dessa flexibilidade.

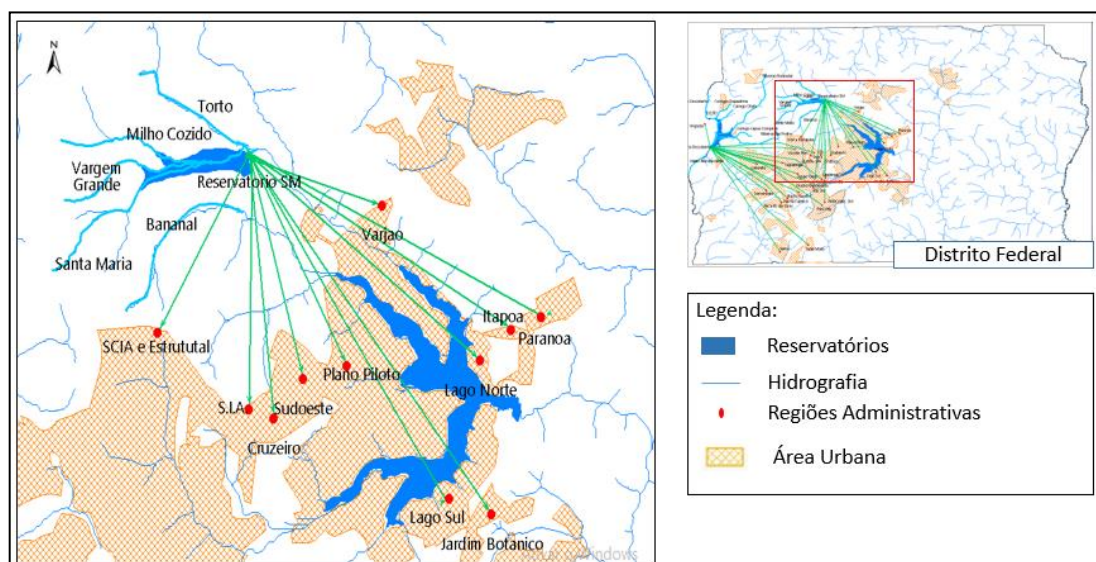


Figura 5-8: Representação do Sistema Santa Maria no programa WEAP.

No que se concerne às considerações feitas no sistema Santa Maria/ Torto, foi considerada a contribuição da vazão captada do Torto, barragem de nível Cabeça do Veado e a partir de outubro foram consideradas a contribuição dos subsistemas Bananal e Lago Norte, além de começar a abastecer outras RAs do sistema Descoberto que foram inseridos posteriormente como ponto de demanda.

O modelo WEAP gera diversos resultados em diferentes cenários com uma demanda baixa de dados, ele permite que gradualmente sejam inseridos outros dados e distintos coeficientes para melhor aperfeiçoar a simulação. O modelo também gera diversos resultados, nesse trabalho serão apresentados aqueles de maior relevância para os objetivos de análise do trabalho.

Como dito anteriormente o ano de referência foi 2013, foram inseridos os valores de vazão dos afluentes dos reservatórios, dados de evaporação líquida no reservatório e volume de retirada para irrigação, apenas para o ano de 2013. A partir desses dados foram simulados para os demais anos com o uso da ferramenta hidrológica do WEAP denominada *Water Year Method*. Percebeu-se que características, como por exemplo as variações mensais causadas



pela sazonalidade, foram replicadas aos demais anos. Entretanto, percebeu-se que o regime de chuva alterou-se nos anos seguintes ao de 2013, por apresentarem uma redução no volume de chuvas, ou seja, o ano hidrológico ficou mais curto, e a chuva que era esperada em setembro passou a acontecer em outubro e ou novembro, fato que influencia diretamente na vazão dos afluentes e o modelo não representou essa mudança.

Deve-se levar em consideração que para cada reservatório foram considerados coeficientes diferentes para a realização da simulação com o método *Water Year*, pois são sistemas diferentes e não apresentam o mesmo comportamento. No entanto, a limitação do programa se dá por conta de que deveria ser possível inserir um coeficiente para cada rio, pois os comportamentos também são diferentes. Portanto, cada coeficiente foi adotado de forma que o simulado ficasse o mais próximo possível do que realmente foi observado.

A fim de validar se a simulação das vazões afluentes foi satisfatória, foi calculado o  $C_{ns}$ , a literatura recomenda  $C_{ns} \geq 0.5$  para considerar o modelo satisfatório (Brighenti *et al.*, 2016). De maneira geral a maioria apresentou  $C_{ns} \geq 0.5$ , entretanto os córregos Vargem Grande e Chapadinha apresentaram valores de  $C_{ns}$  inferiores a 0.5. É importante ressaltar que apesar desses dois córregos não serem os que contribuem mais com os sistemas, é notório que pode haver influência na simulação.

A modelagem de maneira geral foi representativa pois conseguiu demonstrar a variação mensal da chuva (meses de chuva e de estiagem). A título de ilustração são apresentadas na figura 5-9 as vazões dos afluentes do cenário 1 sistema Santa Maria, com o objetivo de observar que a simulação está condizente com o esperado já que anos mais secos é previsto que ocorra redução de vazões.

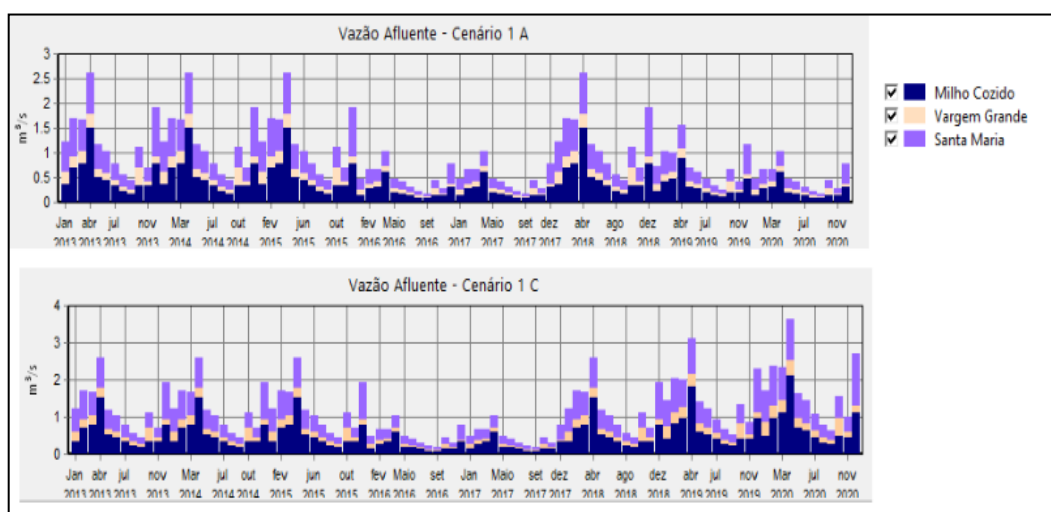


Figura 5-9: Vazão afluente do reservatório Santa Maria (Cenário 1 A e C).

Percebe-se que o resultado da simulação está consoante ao que se espera em relação aos meses de seca na região apresentando baixas vazões e meses de chuva com vazões altas. Também é notório que as vazões nos anos hidrológicos secos e muito secos ficaram as menores vazões e que as vazões nos anos hidrológicos úmidos e muito úmidos as vazões são maiores. Apesar de haver pequenas diferenças nos valores simulado e observado até 2017, de forma geral o comportamento foi bem representado pelo modelo.

Na figura 5-10 é apresentado o volume observado e simulado no modelo WEAP. Percebe-se que o comportamento do volume simulado está conforme o observado, na maior parte dos pontos de máximo e de mínimo o simulado representa de forma coerente. Entretanto nota-se que nos meses de julho a outubro de 2014 o volume simulado fica em torno de 8% a menos que o observado, o ocorrido é devido ao fato da defasagem de chuva que aconteceu porque as características de 2013 para as variações mensais foram mantidas. O ano de 2016 todo também apresentou uma variação de aproximadamente 12%. O ano de 2017 a simulação ficou semelhante com o esperado.

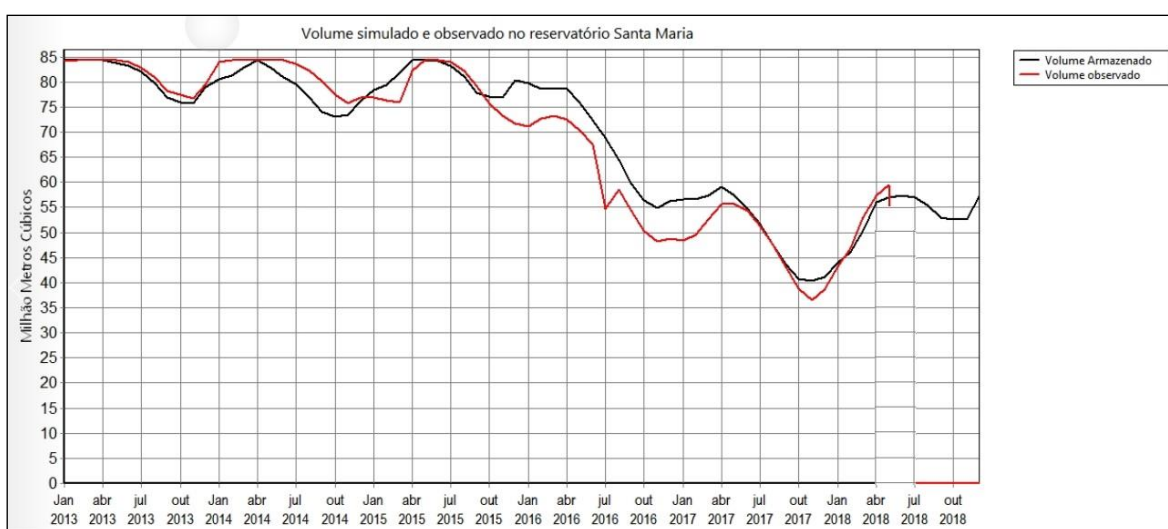


Figura 5-10: Volume simulado e observado – Reservatório Santa Maria.

O resultado da simulação do volume do reservatório Descoberto é apresentado na figura 5-11, percebe-se que o volume simulado acompanha o comportamento do observado. Em janeiro de 2015 e 2017 é possível perceber a antecipação do pico do volume simulado em relação ao observado.

Ressalta-se também que no fim de 2017 e início de 2018 o sistema Santa Maria passou a auxiliar o sistema Descoberto, abastecendo certas regiões deste sistema, logo



constata-se que o volume aumentou rapidamente, fato que ocorre também devido ao reservatório do Descoberto ter maior área de drenagem e por possuir essa dinâmica permitindo uma maior velocidade do enchimento do reservatório, é importante observar que volume simulado está coincidente com o observado.

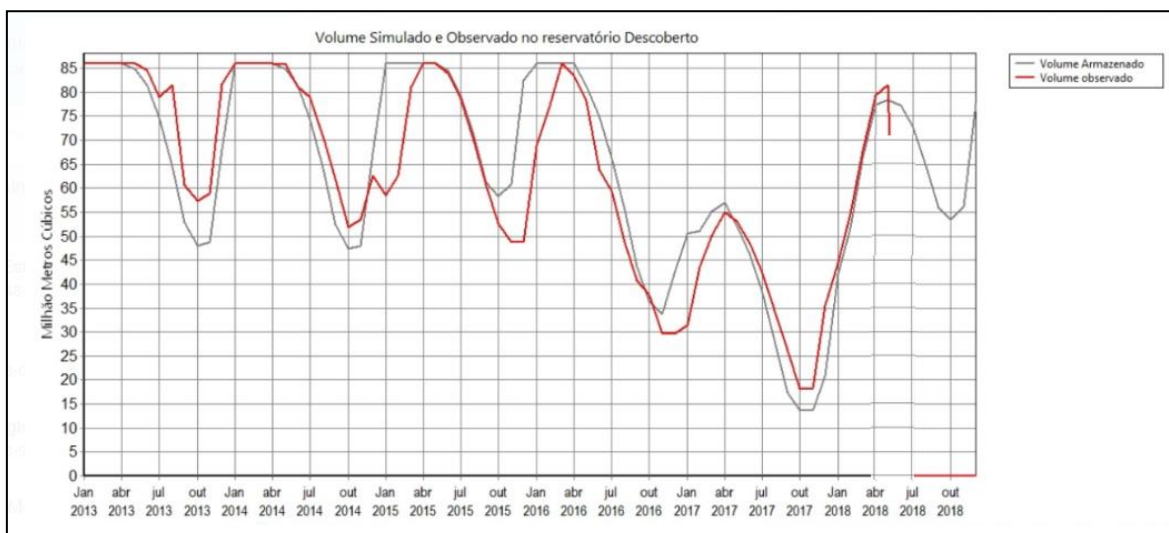


Figura 5-11: Volume simulado e observado – Reservatório Descoberto.

Considerando os anos hidrológicos previstos para o cenário 1 A e B, percebe-se que nos anos seco (2019) e muito seco (2020) os volumes ficariam abaixo de 84% do volume útil, porém observa-se que quando é aplicado 7% de redução em relação ao consumo, devido ao uso racional de água por parte da população, o cenário 1 A apresentaria alívio maior no nível de água do reservatório (Figura 5-12). Portanto, com o legado que a crise hídrica tem deixado, de se ter que usar racionalmente a água, espera-se que a população continue diminuindo o ritmo de consumo, pois assim o reservatório ficaria com volume de aproximadamente  $17\text{hm}^3$ , no mês de novembro de 2020, a mais do que se a população retomasse o consumo de antes da crise. Percebe-se desse cenário que a variação do volume cresce linearmente, ou seja, tem-se que esse 7% na redução do consumo será significativo no volume do reservatório quando se tem anos secos seguidos. Então, é de suma importância que a população consuma conscientemente.

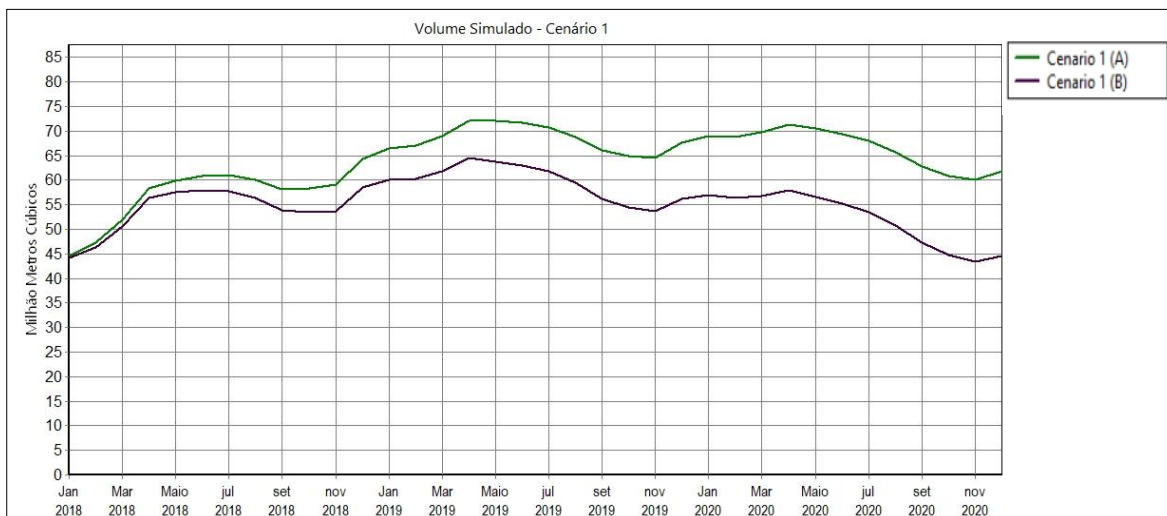


Figura 5-12: Variação do volume útil cenário 1 (A e B) – Reservatório Santa Maria.

Na figura 5-13 é apresentado o cenário 1 para todos os anos hidrológicos previstos. Percebe-se que o cenário otimista, considerando 2019 úmido e 2020 como muito úmido, seria a melhor situação, pois o nível do reservatório alcançaria 100% da sua capacidade. Ressalta-se ainda que o tipo de ano hidrológico é determinante para conseguir assegurar a segurança hídrica. Entretanto, como não se pode prever realmente qual será o regime de chuva nos anos subsequentes é de extrema importância o uso racional de água.

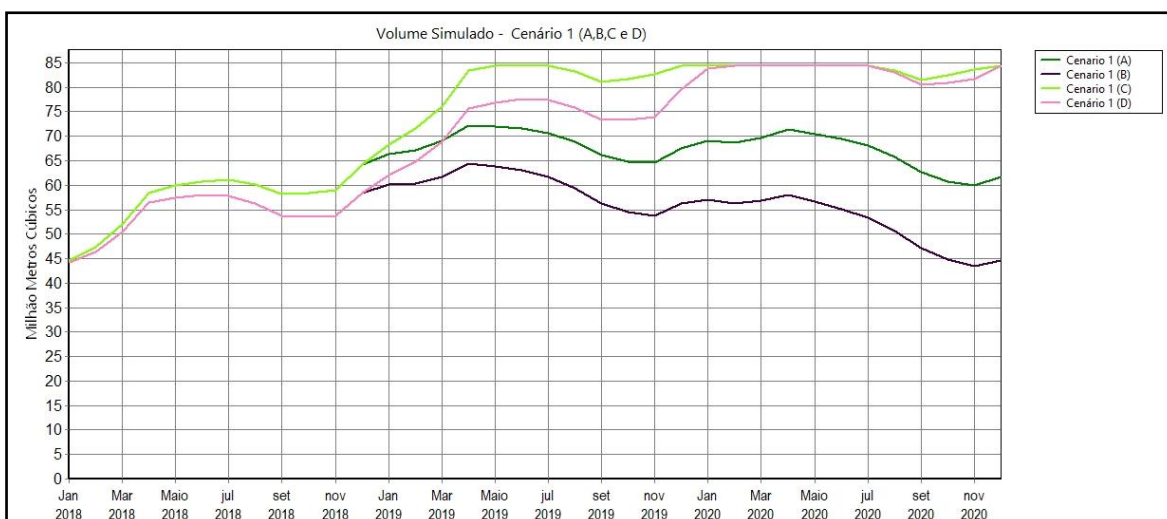


Figura 5-13: Variação do volume útil cenário 1 (A, B,C e D) – Reservatório Santa Maria.

Os cenários 3 A e B são apresentados na figura 5-14, nota-se do cenário 3 A que principalmente no ano de 2020, que é considerado muito seco, apresenta uma significativa diferença em relação ao cenário 3 B, que não considera a redução de 7% no consumo de água, a diferença em novembro de 2020 chega a 14 hm<sup>3</sup>.

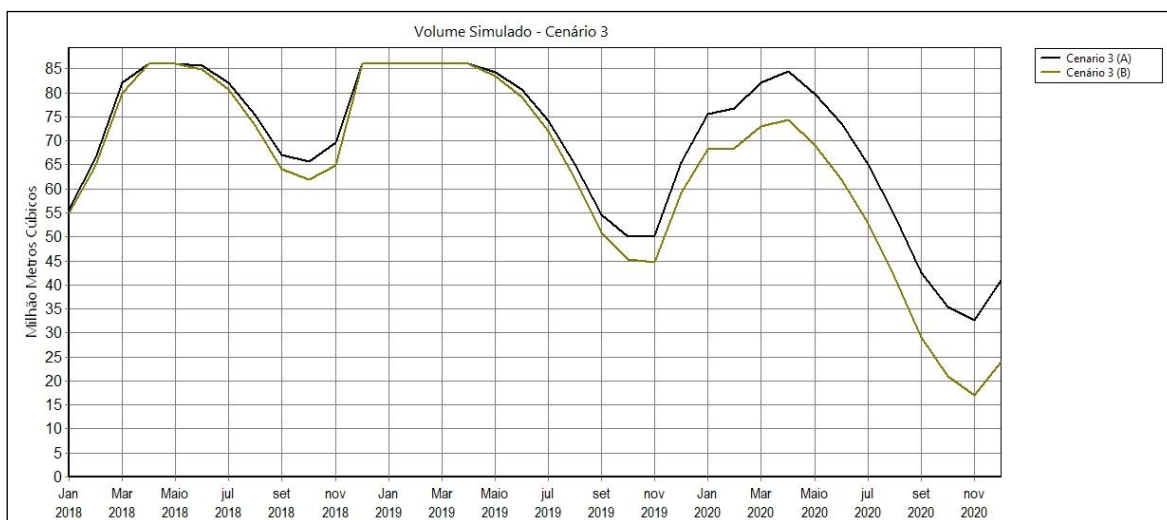


Figura 5-14: Variação do volume útil cenário 3 (A e B) – Reservatório Descoberto.

Conforme ao que era esperado dos cenários 3 C e D, que consideraram os anos 2018 e 2020 úmido e muito úmido respectivamente, percebe-se que apresentariam a melhor perspectiva em relação ao nível do reservatório, tem-se que o aumento foi de 45,9 hm<sup>3</sup> do cenário 3 C em relação ao 3 A e de 57,4 hm<sup>3</sup> do cenário 3 D em relação ao 3 B, figura 5-15.

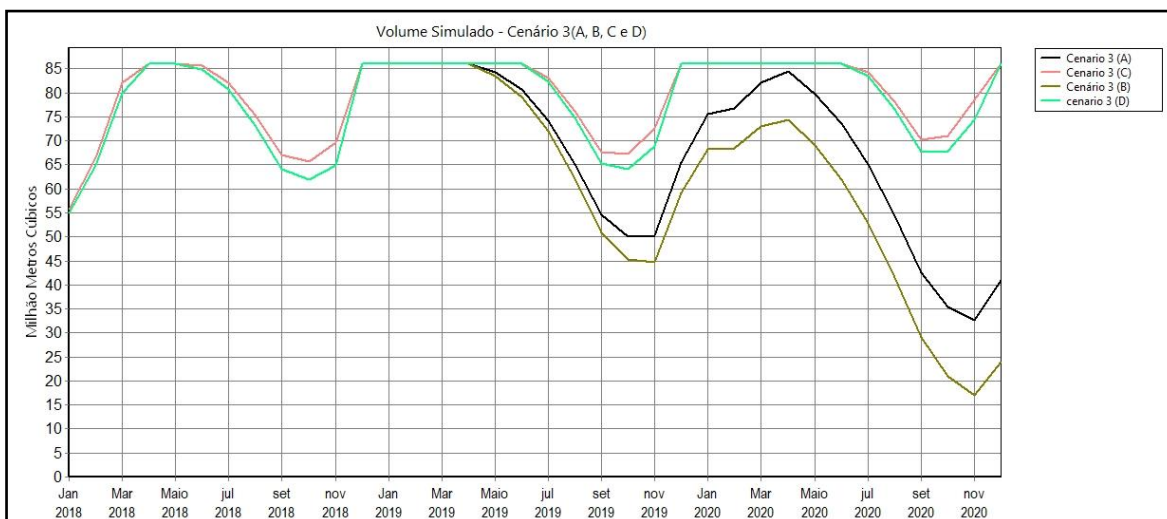


Figura 5-15: Variação do volume útil cenário 3 (A, B, C e D) – Reservatório Descoberto.

Na figura 5-16 é ilustrado o cenário 2. Os cenários 2 A e C consideravam que as medidas de racionamento seriam aplicadas até dezembro de 2018, observa-se que esses

cenários foram os que se comportaram mais positivamente em relação ao volume do reservatório.

Destaca-se que, quando comparados com o cenário 2 C (medidas até dezembro de 2018) e D (medidas até junho de 2018) é constatado que, a partir do fim de 2019, não teria diferença se as medidas acabassem em junho ou dezembro, pois o ano hidrológico seria otimista com anos úmido e muito úmido. Entretanto quando se compara cenários que apresentam anos hidrológicos seco e muito seco (2 A e B), verifica-se que o cenário considerando as medidas sendo aplicadas até dezembro (2 A) permitiria um ganho de até 8% de volume do que se as medidas fossem somente até junho (2 B).

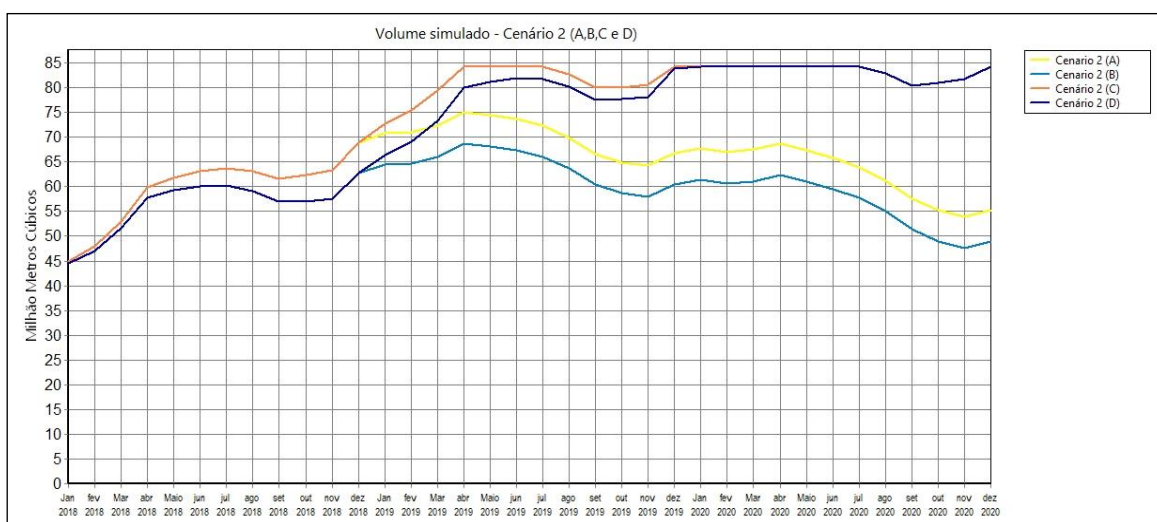


Figura 5-16: Variação do volume útil Cenário 2 (A, B, C e D) – Santa Maria.

Na figura 5-17 é apresentado o cenário 4 A e B, ambos consideram o ano de 2019 e 2020 seco e muito seco, respectivamente. Percebe-se que a variação do volume acontece somente em 2018, sendo que o cenário 4 A apresenta volume maior que o cenário B, pois nesse cenário a variação é pontual, considerando redução de consumo somente em 2018. Diferentemente do que ocorreu no reservatório do Santa Maria, que apresentou variações em cenários que consideravam períodos distintos de término das aplicações das medidas, o reservatório do Descoberto a longo prazo não será influenciado se as medidas forem até junho ou dezembro desse ano.

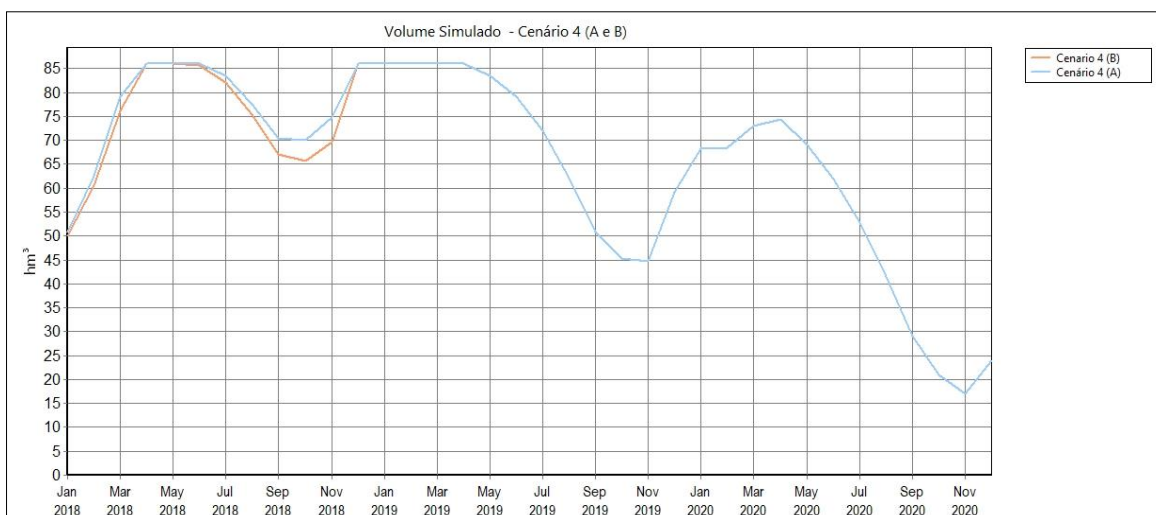


Figura 5-17: Variação do volume útil cenário 4 (A e B) – Reservatório Descoberto.

O mesmo comportamento apresentou os cenários otimistas, que consideravam os anos de 2019 e 2020 úmido e muito úmido, respectivamente. Observa-se na figura 5-18 que a variação ocorreu apenas no ano de 2018, e nos anos subsequentes não houve variação entre os cenários.

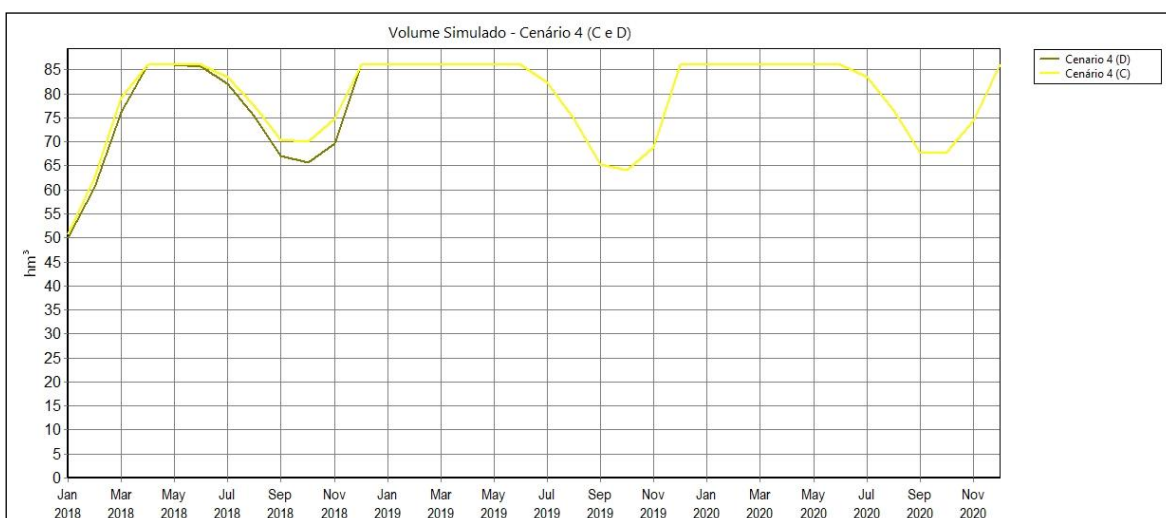


Figura 5-18: Variação do volume útil cenário 4 (C e D) – Reservatório Descoberto.

O cenário com a contribuição do Corumbá IV é apresentado na figura 5-19. Percebe-se que o reservatório do Descoberto estará mais aliviado recebendo a contribuição do Corumbá IV, mesmo no cenário pessimista o reservatório atingirá no mínimo 63% do volume útil. Salienta-se então que novas fontes de captação são o que de fato mais contribui para garantir a disponibilidade hídrica para o abastecimento.

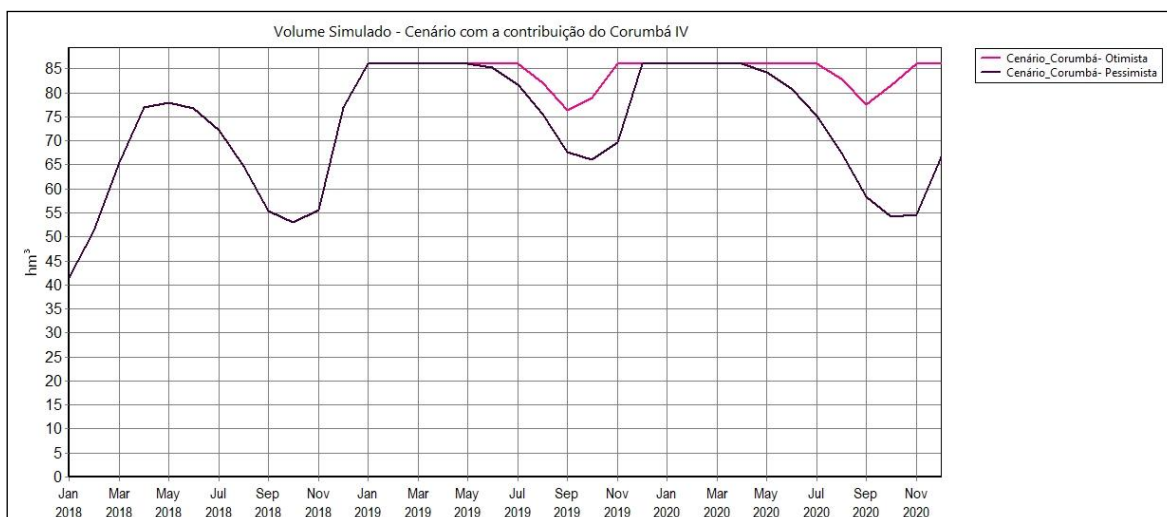


Figura 5-19: Variação do volume com a contribuição do Corumbá IV – Reservatório Descoberto.

Na figura 5-20 é apresentado a variação de cota do reservatório Santa Maria para todos os cenários. Ressalta-se que o cenário *Reference* foi modelado considerando o ano de 2018, 2019 e 2020 normais e sem a aplicação de medidas em nenhum dos anos a partir de 2017, considerando assim que de 2018 para frente o consumo seria a média de consumo dos anos 2013 a 2016, e serviu de base para verificar o volume simulado e observado. Percebe-se que o cenário mais crítico seria considerando que a população voltaria com o consumo médio de 2013 a 2016, não fazendo assim o uso consciente da água e do ponto de vista hidrológico pessimista (1B), pois apresentaria 33 % do volume útil. Os cenários otimistas em relação aos anos hidrológicos são os que contribuiriam para manter a segurança hídrica no abastecimento de água, sendo que se destaca os cenários 2 D, 1C e 2 C.

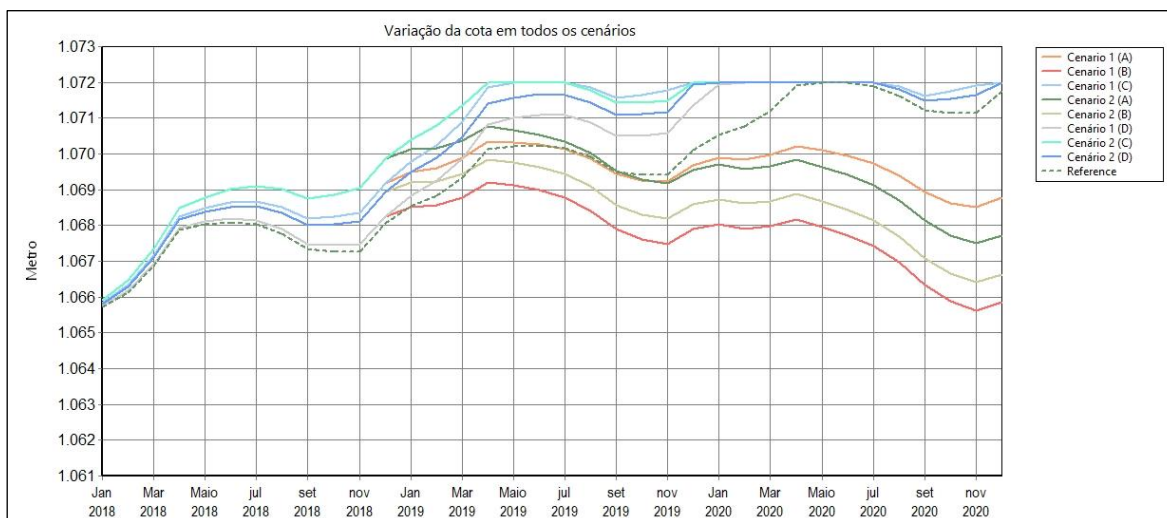


Figura 5-20: Variação da cota do reservatório Santa Maria em todos os cenários.

Em relação a variação de cota do reservatório Descoberto, observa-se na figura 5-21 que os cenários mais críticos seriam aqueles que consideram os anos hidrológicos pessimistas e o consumo da população iria retomar a média do consumo de água de 2013 a 2016, após se encerrarem a aplicação das medidas. Os cenários mais positivos são os que consideraram os anos de 2019 e 2020 úmido e muito úmido respectivamente, e o cenário que considerava a contribuição Corumbá IV.

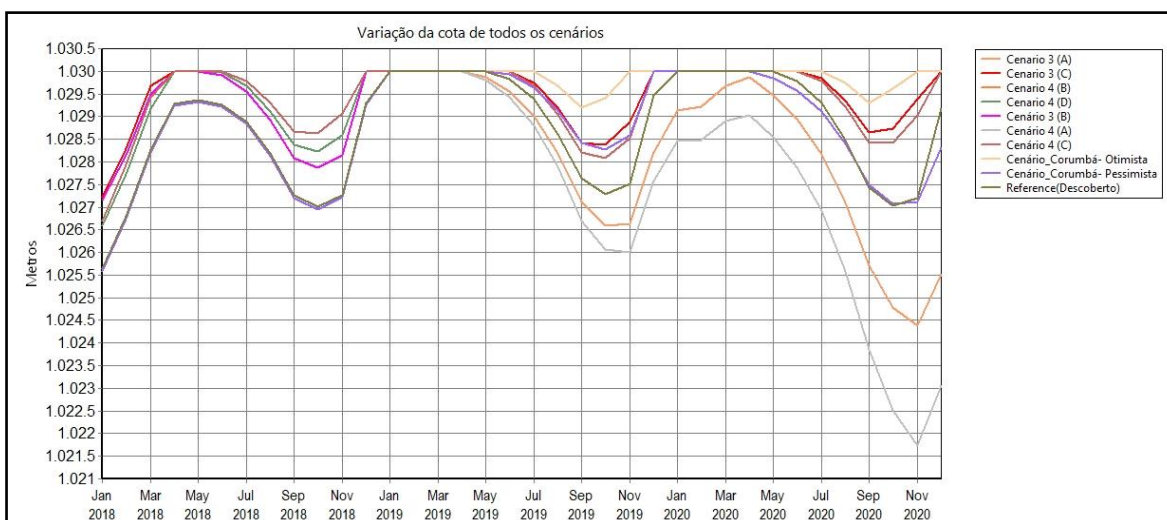


Figura 5-21: Variação da cota do reservatório Descoberto para todos os cenários.



## 6. CONCLUSÃO

Esta pesquisa teve como proposta de avaliar a efetividade das medidas de racionamento aplicadas nos sistemas Descoberto e Santa Maria. Essa análise consistiu em obter a taxa de redução do consumo de água para cada sistema. Dessa forma, o princípio da metodologia se resumiu em fazer um estudo do consumo das RAs abastecidas pelos dois sistemas e verificar qual foi a redução de consumo para os 3 conjuntos de medidas aplicadas.

Identificou-se que o conjunto de medida que obteve a maior redução no consumo foi o segundo conjunto, que considerou tarifa de Contingência, redução de Pressão e rodízio de 1 dia, o sistema Descoberto e o sistema Santa Maria apresentaram redução média consumo de 19% e 16%, respectivamente.

De maneira geral, a aplicação das medidas de racionamento causou bons resultados na redução do consumo. Contudo, certas RAs apresentaram consumo per capita acima do ideal estabelecido para o atendimento das necessidades básicas diárias, entretanto, tiveram RAs que reduziram bastante o consumo e que alcançaram a per capita ideal.

As simulações realizadas com o modelo WEAP demonstraram alguns dos possíveis cenários para os reservatórios em estudo. Os cenários realizados servem para dar suporte na tomada de decisão sobre a gestão dos recursos hídricos e na operação dos reservatórios. Ressalta-se que a criação de cenários proporcionou a confirmação da influência do consumo consciente por parte da população, das medidas de racionamento e dos fatores hidrológicos e a contribuição de novas fontes de água na variação do volume útil dos reservatórios.

Foram simulados 3 cenários distintos, cenários hidrológicos com aplicação de redução de consumo, períodos diferentes de duração da aplicação de medidas de racionamento e cenários considerando diferentes anos hidrológicos e aumento da oferta hídrica no sistema Descoberto.

De maneira simples e prática foi realizada a modelagem dos sistemas no modelo WEAP. Constata-se, segundo os fatores considerados para a realização da simulação, que nos cenários hidrológicos otimistas do reservatório do Santa Maria conseguiria se recuperar novamente, chegando a 100% do volume útil. Entretanto, para cenários mais pessimistas do ponto de vista hidrológico, o reservatório estaria mais vulnerável à diminuição do volume, sem o uso racional de água da população atingiria no mínimo 33% e com o uso consciente da água atingiria 60% do volume útil do reservatório Santa Maria. Em relação à duração da aplicação das medidas no ano de 2018, o mínimo que chegaria com as aplicações até junho seria de 41% e até dezembro 50% para o reservatório Santa Maria.



Em relação ao cenário que considera a contribuição do Corumbá IV, percebeu-se que a maior oferta de disponibilidade hídrica iria garantir a resiliência do reservatório Descoberto, mesmo em cenários pessimistas. Em todos os cenários otimistas, em relação ao ano hidrológico, o reservatório apresentou maior resiliência em retomar o volume máximo após períodos de seca. Conforme a simulação, a duração do período da aplicação das medidas de mais 6 meses a longo prazo não teria influência no nível do reservatório. No que tange a conscientização da população em relação ao nível do reservatório, percebeu-se que em períodos de seca o uso racional de água iria contribuir com 15,6 hm<sup>3</sup> a mais no volume do reservatório.

Diante dos cenários propostos, conclui-se que a conscientização individual é de grande importância para garantir o maior desempenho do reservatório no abastecimento de água, portanto, incentivos para o reaproveitamento de água devem ser considerados. Vale ressaltar que novas fontes de abastecimentos e captação em outros mananciais também contribuem para garantir a segurança hídrica, para isso é indispensável que se invista em sistemas eficientes que auxiliem na preservação da qualidade da água dos mananciais e que se reduzam as perdas nas estações de tratamento de água e rede de distribuição.

Para os trabalhos futuros, realizados com o modelo de simulação WEAP, é recomendado que se realize uma modelagem mais acurada em relação as vazões afluentes simuladas, um melhor detalhamento dos sistemas como um todo, considerando todas as contribuições existentes de outros subsistemas e rios que não são monitorados, melhor estimativa da projeção populacional com base no que a companhia de saneamento propõe, incluir uma estimativa da vazão captada clandestinamente. Além disso, uma proposta para trabalhos futuros, seria a representação mais efetiva da flexibilidade da interligação entre o reservatório Descoberto e reservatório Santa Maria.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdullahi S. A.1,\* , Muhammad M. M.1, Adeogun B. K.1, I. U. Mohammed (2014). Assessment of Water Availability in the Sokoto Rima River Basin. *Resources and Environment*, 4(5): 220-233
- AESA. (2017). Após um mês sem racionamento em Campina Grande, açude de Boqueirão ganha mais de 1 milhão de metros cúbicos. Disponível em: <<http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/2017/09/27/apos-um-mes-sem-rationamento-em-campina-acude-de-boqueirao-ganha-mais-de-1-milhao-de-metros-cubicos/>>. Acesso em: 04/11/2017.
- AESA. (2017). Relação dos açudes monitorados. Disponível em: <<http://site2.aesa.pb.gov.br/aesa/volumesAcudes.do?metodo=listarAcudesUltimaCota>>. Acesso em: 17/10/2017.
- Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal. (2018). Sistema de Abastecimento de água. Disponível em: <<http://www.adasa.df.gov.br/abastecimento-de-agua-e-esgoto/fiscalizacao/sistema-de-abastecimento-de-agua>> . Acesso em: 21/05/2018.
- Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal (2018). Sistemas de Informações sobre Recursos Hídricos. Disponível em: <<http://gis.adasa.df.gov.br/portal/home/>>. Acesso em: 26/05/2018.
- Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal (2016). Resolução Nº17 de outubro de 2016. Estabelece a Tarifa de Contingência para os serviços públicos de abastecimento de água do Distrito Federal, prestados pela Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal – CAESB, em virtude de situação crítica de escassez hídrica e dá outras providências.
- Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal (2017). Resolução Nº 09, de 15 de maio de 2017. Estabelece curva de acompanhamento do volume útil do reservatório do Descoberto para o ano de 2017, visando à manutenção dos usos prioritários dos recursos hídricos.
- Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal (2017). Resolução Nº 08, de 15 de maio de 2017. Suspende a cobrança da Tarifa de Contingência para os serviços públicos de abastecimento de água do Distrito Federal, prestados pela Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal – CAESB, em virtude de situação crítica de escassez hídrica e dá outras providências.

Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal (2016). Resolução Nº 20 de 07 de novembro de 2016. Declara o estado de restrição de uso dos recursos hídricos, estabelece o regime de racionamento do serviço de abastecimento de água nas localidades atendidas pelos reservatórios do Descoberto e Santa Maria e dá outras providências.

Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal (2016). Resolução Nº17 de outubro de 2016.

Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal (2016). Nota Técnica nº 61/2016- SRH/ADASA.

Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal (2016). Nota Técnica nº 58 2016-SHR ADASA.

Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal (2017). Resolução Nº 09, de 15 de maio de 2017. Estabelece curva de acompanhamento do volume útil do reservatório do Descoberto para o ano de 2017, visando à manutenção dos usos prioritários dos recursos hídricos.

ANA (2006). Atlas Nordeste Abastecimento Urbano de Água. Disponível em: <<http://www.integracao.gov.br/documents/10157/3678963/Atlas+Norrdeste+-+Abastecimento+Urbano+de+%C3%81gua.pdf/81e3a0c7-2b28-4d3e-9dd7-cd9a9ba3e50e>> . Acesso em: 17/10/2017

ANA (2010). Região Metropolitana RIDE, DF. Disponível em: <http://atlas.ana.gov.br/Atlas/forms/analise/RegiaoMetropolitana.aspx?rme=1>. Acesso em: 20/10/2017.

ANA (2010). TEMA – Indicadores de Recursos Hídricos. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/estruturas/219/\\_arquivos/texto\\_indicador1\\_relao\\_entre\\_de\\_manda\\_e\\_oferta\\_de\\_gua\\_2010\\_219.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/219/_arquivos/texto_indicador1_relao_entre_de_manda_e_oferta_de_gua_2010_219.pdf)>. Acesso em: 15/10/2017

ANA (2014). Plano Nacional de Segurança Hídrica (PNSH).

ANA (2015). Resolução Conjunta ANA e AESA-PB Nº 960, de 17 de agosto de 2015. Documento nº 00000.048010/2015-11.

ANA (2016). Conjuntura dos recursos hídricos. Encarte especial sobre a crise hídrica. Brasília, 2015. Disponível em: <<http://conjuntura.ana.gov.br/docs/crisehidrica.pdf>>. Acesso em: 08/09/2017.

ANA (2017). Conjuntura dos recursos hídricos 2017. Disponível em: <<http://conjuntura.ana.gov.br/>> . Acesso em: 20/05/2018.

Associação Brasileira De Agências Reguladoras (2015). Grupo Técnico de Apoio sobre

- Crise Hídrica da Câmara Técnica de Saneamento Básico. Termo de Referência do Plano Nacional de Segurança Hídrica - Critérios, seleção e detalhamento de intervenções estratégicas. Salvador.
- Berredjem A.F., Hani A. (2017). Modelling current and future supply and water demand in the northern region of the Seybouse Valley. *Journal of Water and Land Development*. No. 33 p. 31–38. DOI: 10.1515/jwld-2017- 0016.
- Brandão, C., Rodrigues. R. (2000), Hydrological Simulation of the international catchment of Guadiana River, *Physic sand Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere* 25(3): 329-339.
- Brasil. (1994). NBR 12218. Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público.
- Brasil. (2007). Lei Federal nº 11.445/07. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico.
- Brasília Capital (2017). Volume dos reservatórios do DF atinge menor nível histórico e Adasa intensifica fiscalização. Disponível em: <<https://www.bsbcapital.com.br/volume-dos-reservatorios-do-df-atinge-menor-nivel-historico-e-adasa-intensifica-fiscalizacao/>>. Acesso em: 04/11/2017.
- Brighenti et al. (2016). Calibração hierárquica do modelo swat em uma bacia hidrográfica Catarinense. *Revista Brasileira de Recursos hídricos*. vol. 21 no .1 Porto Alegre jan./mar. p. 53 – 64.
- Carmo, M. S. (2003). Geoquímica de águas e sedimentos de correntes da bacia hidrográfica do rio Descoberto – Brasília-DF. Dissertação de Mestrado Universidade de Brasília. Instituto de Geociências, Brasília – DF.
- Cerqueira, G. A. et al.(2015). A Crise Hídrica e suas Consequências. Brasília: Núcleo de Estudos e Pesquisas/CONLEG/Senado, abril/2015 (Boletim do Legislativo nº 27, de 2015). Disponível em: [www.senado.leg.br/estudos](http://www.senado.leg.br/estudos). Acesso em: 30/10/2017.
- CHESS. (2015). SABESP. – Crise Hídrica, Estratégia e Soluções da Sabesp. São Paulo.
- Codeplan – Companhia de Planejamento do Distrito Federal. Pesquisa distrital por amostra de domicílios - Riacho Fundo II, Brasília.
- Codeplan (2016). Consumo de água em Brasília: Crise e Oportunidade. Disponível em: <[http://www.codeplan.df.gov.br/wp-content/uploads/2018/02/TD\\_8\\_Consumo\\_de\\_%C3%81gua\\_em\\_Bras%C3%ADlia- crise\\_e\\_oportunidade.pdf](http://www.codeplan.df.gov.br/wp-content/uploads/2018/02/TD_8_Consumo_de_%C3%81gua_em_Bras%C3%ADlia- crise_e_oportunidade.pdf)>. Acesso em: 02/02/2018
- Codeplan– Companhia de Planejamento do Distrito Federal. Pesquisa Distrital por Amostra

- de Domicílios – PDAD 2013/2014 – Plano Piloto, Brasília.
- Codeplan, 2011. Trabalho e moradia no DF. Disponível em: <  
<http://www.codeplan.df.gov.br/wp-content/uploads/2018/02/Trabalho-e-Moradia-no-Distrito-Federal.pdf>> . Acesso em: 21/05/2018.
- Companhia de Água e Esgoto da Paraíba. (2008) – CAGEPA. Disponível em: <  
<http://www.cagepa.pb.gov.br/outras-informacoes/abastecimento-de-agua/tratamento/>>. Acesso em: 20/09/2017.
- Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal. (2014) – CAESB. SIÁGUA- Sinopse do Abastecimento de Água do Distrito Federal. Brasília-DF.
- Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal. (2016) – CAESB. Escassez hídrica e Tarifa de Contingência. Disponível em:  
[https://www.caesb.df.gov.br/images/seca\\_DF/apresentacaotarifa\\_de\\_contingencia2.pdf](https://www.caesb.df.gov.br/images/seca_DF/apresentacaotarifa_de_contingencia2.pdf). Acesso em: 30/11/2017.
- Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal. (2016) – CAESB. Tarifa de Contingência. Disponível em<  
[https://www.caesb.df.gov.br/images/seca\\_DF/detalhamentodatarifa.pdf](https://www.caesb.df.gov.br/images/seca_DF/detalhamentodatarifa.pdf)>. Acesso em: 20/11/2017.
- Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal. (2017) – CAESB. Plano de rodízio do fornecimento de água e os resultados alcançados. Disponível em: <  
[http://www.mpdft.mp.br/portal/pdf/eventos/crisehidrica/Apresentacao\\_crise\\_hidrica\\_Caesb\\_14-3-2017\\_MPDFT.pdf](http://www.mpdft.mp.br/portal/pdf/eventos/crisehidrica/Apresentacao_crise_hidrica_Caesb_14-3-2017_MPDFT.pdf)>. Acesso em: 11/04/2018.
- Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal. CAESB, CNEC – Consorcio Nacional de Engenheiros Consultores S.A. (1985). “Plano de Proteção do lago Descoberto”. Relatório Final – Tomo 01. Brasília-DF.
- Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal. CAESB. Atlas Caesb: A inteligência Geográfica que transforma dados em conhecimento. Disponível em:<  
<https://atlas.caesb.df.gov.br/portal/home/index.html>> Acesso em: 02 out. 2017.
- Da Silva, T. D. (2015) -Integração dos modelos QUAL2K e WEAP para modelagem da qualidade da água em corpos de água receptores de efluentes de ETE’s em área de adensamento urbano no Distrito Federal. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Civil, Brasília, DF, 145p.
- Dalmônica, A. H. (2014). Análise de fatores influenciadores do consumo de água em Uberlândia: O caso do Setor Sul. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia.

- Danish Hydraulics Institute – DHI. Disponível em : < <https://www.dhigroup.com/search?q=Mike%20Hidro%20Basin%20>> . Acesso em: 4/10/2017.
- disponível em:<<https://www.segurancahidricarj.com.br/segurancahidrica>> Acesso em: 03/10/2017.
- Distrito Federal. (2008). Lei Distrital nº 4.285/2008. Dispõe sobre recursos hídricos e serviços públicos no Distrito Federal e dá outras providências.
- EMPRABA. (1978). Serviço Nacional de Levantamentos de Conservação de Solos. Levantamento de reconhecimento dos solos do Distrito Federal. Rio de Janeiro. 455 p. (Embrapa-SNLCS. Boletim Técnico, 53).
- Escobar, M. and Jaramillo, M. F. (2014). Implementación del modelo WEAP para el estudio de la calidad del agua em la cuenca del río La vieja. Publicado por: Stockholm Environment Institute.
- Fernandes, C.V.S. (2004). “Modelagem da qualidade da água em redes de distribuição de água: A influência dos transients hidráulicos.” in IV SEREA – Seminário Hispano-Brasileiro sobre Sistemas de Abastecimento Urbano de Água, João Pessoa, Brasil.
- Fonseca, F. (2008). Efeitos Do Turismo na Demanda D’água da Bacia do Rio Gramame – Estudo de caso. Dissertação de mestrado, 143p. Universidade Federal de Campina Grande. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental. Campina Grande- PB.
- Geoportal. (2018). Disponível em:< <https://www.geoportal.segeth.df.gov.br/mapa/#>>. Acesso em: 20/02/2018.
- Governo de Brasília. (2017). Plano Integrado de Enfrentamento à Crise Hídrica Brasília. Disponível em: <<https://www.agenciabrasilia.df.gov.br/wp-content/uploads/2017/03/plano-integrado-de-enfrentamento-a-crise-hidrica-governo-de-brasilia.pdf>>. Acesso em: 20/10/2017.
- Guedes, M.; Ribeiro, M.; Vieira, Z. (2014). Alternativas de Gerenciamento da Demanda de Água na Escala de uma Cidade. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, **19**(2), p. 123-134, 2014.
- Heller, L. e Pádua, V. L. (2006). Abastecimento de Água para Consumo Humano. 1 ed. Belo Horizonte: Editora UFMG.
- Herrera, D. J. (2013). Integração de modelos de quantidade e qualidade da água para avaliação de cargas contaminantes em afluentes de mananciais de abastecimento. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação

- PTARH. DM 146/2013, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 127p.
- Hespanhol, I. (2008). Um novo paradigma para a gestão de recursos hídricos. Estudos Avançados. Estud. Av., São Paulo, **22** (63).131-158p.
- IBAMA e FUNATURA,1998. Plano de Manejo do Parque Nacional de Brasília. Disponível em: < <http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/imgs-unidades-coservacao/PARNA%20Brasilia.pdf>> . Acesso em: 11/04/2018
- IBGE. (2001). Cidades@. Dados por município. In: [www.ibge.gov.br/cidadesat](http://www.ibge.gov.br/cidadesat).
- INEA- Vamos falar sobre segurança hídrica.
- Jacobi, P. R.; Cibim, J. C.; Souza, A. N. (2016). Crise da água na Região Metropolitana de São Paulo – 2013-2015. Geosp – Espaço e Tempo (Online), v. 19, n. 3,p. 422-444. ISSN 2179-0892.
- Jacobi, P. R.; Paz, M. G. A; Souza Leão, R.; Estancione, L. M. B. (2013). Water governance and natural disasters in the Metropolitan Region of São Paulo, Brazil. International Journal of Urban Sustainable Development, v.5, n.1, p.77-88.
- Jorge, M.C. (2017). Avaliação da influência de medidas de enfrentamento à crise hídrica no Sistema Descoberto, DF. Monografia de Projeto Final, Publicação, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 93 p.
- Juntos pela água. O que podemos aprender com a estratégia hídrica de Cingapura. Disponível em: <<https://www.juntospelaagua.com.br/2017/01/19/estrategia-hidrica-cingapura/>>. Acesso em: 06/10/2017.
- Lévite *et al.* (2002). Water demand management scenarios in a water-stressed basin in South Africa. 3rd WARSFA/ Waternet Symposium Arusha, 10 pp.
- Lins, G. M. L. (2011). Análise de variáveis determinantes no consumo urbano de água de uso doméstico na cidade de Campina Grande, Paraíba, PB. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Campina Grande.
- Lima, C. A.N. (2004). Avaliação da Influência da Ocupação do Entorno do Parque Nacional de Brasília na Qualidade e na Disponibilidade da Água Bruta do Sistema de Abastecimento Público Torto/Santa Maria. Dissertação de Pós-Graduação Stricto Sensu em Planejamento e Gestão Ambiental da Universidade Católica de Brasília. 139p.
- MCKINNEY, D. C. (2004). International Survey Of Decision Support Systems For Integrated Water Management. Support to Enhance Privatization, Investment and Competitiveness in the Water Sector of theRomanian Economy (SEPIC), Bucharest,

Romania.

- Melo, M. C. (2016). Segurança Hídrica para Abastecimento Urbano: Proposta de Modelo Analítico e Aplicação na Bacia do Rio Das Velhas, Minas Gerais. Dissertação de doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil, Rio de Janeiro, 525 p.
- Nunes et al. (2009). Disponibilidade de água doce no planeta: Existe água doce suficiente para satisfazer as necessidades do planeta?. Relatório, Universidade do Porto, Portugal, 30p.
- Oliveira, Virgenia Maria Bezerra. (2008). O papel da Educação Ambiental na gestão dos recursos hídricos: Caso da Bacia do Lago Descoberto/DF. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 141 p.
- Pauli, D. R. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. (2014). Disponível em: <<https://dlq8vi77lxj74.cloudfront.net/media/e55e91b2cc22ba117ba8d1546537f7a4c037cf67/00ae74e729ac1da1d032b568bd55aae35ce426fa/1429277346/webinarperdas.pdf>>. Acesso em: 20/10/2017.
- Portal Tratamento de Água. (2016). Racionamento de água completa dois anos em Campina Grande. Disponível em: <<https://www.tratamentodeagua.com.br/racionamento-de-agua-completa-dois-anos-em-campina-grande/>> Acesso em: 15 de novembro de 2017.
- Portal Tratamento de água. (2016). Racionamento de água completa dois anos em Campina Grande. Disponível em : <<https://www.tratamentodeagua.com.br/racionamento-de-agua-completa-dois-anos-em-campina-grande/>> Acesso em: 04/11/2017. Proteção do lago Descoberto”. Relatório Final – Tomo 01. Brasília-DF.
- Rebouças, A. C. (1997). Água na região Nordeste: abundância, desperdício e escassez.
- Rebouças, B. e Tundisi (2006). Águas doces no Brasil: Capital Ecológico, Uso e Conservação. 3ªed. São Paulo.
- Resolução Conjunta ADASA/SECIMA/ANA Nº 01, de 06 de março de 2017. Disponível em:< <http://arquivos.ana.gov.br/resolucoes/2017/Conjunta/1-2017.pdf>> Acesso em: 23 nov. de 2017.
- Rocha, E. R. L. e Cézar, M. C. M. (2015). Balanço Hídrico do Reservatório do Rio Descoberto. XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Brasília, DF, 8p.
- Salla et al. (2013). Sistema de Suporte à decisão em Recursos Hídricos na Bacia Hidrográfica do Rio Uberabinha, Minas Gerais. - Revista Brasileira de Recursos Hídricos,19 (1) – Jan/Mar 2014, 189-204.
- Santana, M. S. (2006). Simulação dos Sistemas de Recursos Hídricos no Distrito Federal e



- Entorno. Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 175p.
- Santos, T. M. e Texeira, B. G. (2015). Benefícios e legados da crise da água no Brasil. *Revista Ambiental Água* [online], **10**(2),234-239p. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1629>>. Acesso: 10/11/2017.
- Savenije, H. J. G.; Van Der Zaag, P. Water as an economic good and demand management: paradigms with pitfalls. *Water International*, v. 27, n. 1, 2002. P. 98-104.
- SEI (2001). WEAP: water evaluation and planning system user guide. Stockholm Environment Institute, Boston.
- Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos - 2014. Disponível em: <[http://www.epsjv.fiocruz.br/upload/Diagnostico\\_AE2014.pdf](http://www.epsjv.fiocruz.br/upload/Diagnostico_AE2014.pdf)[http://www.epsjv.fiocruz.br/upload/Diagnostico\\_AE2014.pdf](http://www.epsjv.fiocruz.br/upload/Diagnostico_AE2014.pdf)>. Acesso em: 20/05/2018.
- Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos - 2015. Disponível em: < <http://www.snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos/diagnostico-ae-2015>>. Acesso em: 19/08/2017.
- Souza et al. (2014). Crise Hídrica de 2013/2014 em São Paulo: Causas, Efeitos e Possíveis Soluções. Artigo, Universidade Virtual do Estado de São Paulo, São José dos Campos, SP, 18p.
- TJDFT - Tribunal de Justiça do Distrito Federal e dos Territórios. Justiça declara nulidade da cobrança da tarifa de contingência da Adasa. Disponível em: <<http://www.tjdft.jus.br/institucional/imprensa/noticias/2017/abril/justica-declara-nulidade-de-cobranca-de-tarifa-de-contingencia-pela-caesb>>. Acesso em: 29 jun. 2017.
- Tsutiya, M. T. (2006). Abastecimento de Água. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da universidade de São Paulo. 3 ED. São Paulo.
- Unesco. (2015). Key out comes of the inception workshop: Addressing Water Security Climate Impacts and Adaptation Responses in Africa, Americas and Asia. Disponível em:< <http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002439/243994E.pdf> >. Acesso em: 20/10/17.
- Universitat Politècnica de València. Disponível em: <[http://www.upv.es/aquatool/en/index\\_en.html](http://www.upv.es/aquatool/en/index_en.html)>. Acesso em: 27/10/2017.
- Water Evaluation and Planning-WEAP (2014). Tutorial: A collection of stand-alone modules to AID in learning the WEAP software. Disponível em: <

[http://www.weap21.org/downloads/WEAP\\_Tutorial.pdf](http://www.weap21.org/downloads/WEAP_Tutorial.pdf)>. Acesso em: 13/10/2017.

Yassuda et al. (1976). Técnica de abastecimento e tratamento de água. 2 ed. São Paulo: CETESB.